This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

+ *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.

+ *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.

+ *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.

+ *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

About Google Book Search

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at `http://books.google.com/`

Über dieses Buch

Dies ist ein digitales Exemplar eines Buches, das seit Generationen in den Regalen der Bibliotheken aufbewahrt wurde, bevor es von Google im Rahmen eines Projekts, mit dem die Bücher dieser Welt online verfügbar gemacht werden sollen, sorgfältig gescannt wurde.

Das Buch hat das Urheberrecht überdauert und kann nun öffentlich zugänglich gemacht werden. Ein öffentlich zugängliches Buch ist ein Buch, das niemals Urheberrechten unterlag oder bei dem die Schutzfrist des Urheberrechts abgelaufen ist. Ob ein Buch öffentlich zugänglich ist, kann von Land zu Land unterschiedlich sein. Öffentlich zugängliche Bücher sind unser Tor zur Vergangenheit und stellen ein geschichtliches, kulturelles und wissenschaftliches Vermögen dar, das häufig nur schwierig zu entdecken ist.

Gebrauchsspuren, Anmerkungen und andere Randbemerkungen, die im Originalband enthalten sind, finden sich auch in dieser Datei – eine Erinnerung an die lange Reise, die das Buch vom Verleger zu einer Bibliothek und weiter zu Ihnen hinter sich gebracht hat.

Nutzungsrichtlinien

Google ist stolz, mit Bibliotheken in partnerschaftlicher Zusammenarbeit öffentlich zugängliches Material zu digitalisieren und einer breiten Masse zugänglich zu machen. Öffentlich zugängliche Bücher gehören der Öffentlichkeit, und wir sind nur ihre Hüter. Nichtsdestotrotz ist diese Arbeit kostspielig. Um diese Ressource weiterhin zur Verfügung stellen zu können, haben wir Schritte unternommen, um den Missbrauch durch kommerzielle Parteien zu verhindern. Dazu gehören technische Einschränkungen für automatisierte Abfragen.

Wir bitten Sie um Einhaltung folgender Richtlinien:

+ *Nutzung der Dateien zu nichtkommerziellen Zwecken* Wir haben Google Buchsuche für Endanwender konzipiert und möchten, dass Sie diese Dateien nur für persönliche, nichtkommerzielle Zwecke verwenden.

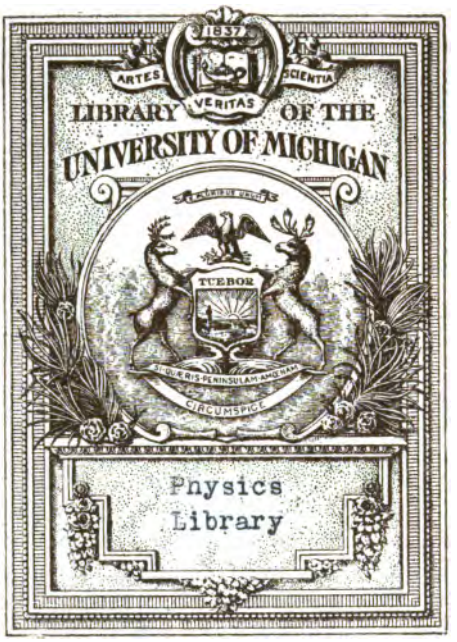
+ *Keine automatisierten Abfragen* Senden Sie keine automatisierten Abfragen irgendwelcher Art an das Google-System. Wenn Sie Recherchen über maschinelle Übersetzung, optische Zeichenerkennung oder andere Bereiche durchführen, in denen der Zugang zu Text in großen Mengen nützlich ist, wenden Sie sich bitte an uns. Wir fördern die Nutzung des öffentlich zugänglichen Materials für diese Zwecke und können Ihnen unter Umständen helfen.

+ *Beibehaltung von Google-Markenelementen* Das "Wasserzeichen" von Google, das Sie in jeder Datei finden, ist wichtig zur Information über dieses Projekt und hilft den Anwendern weiteres Material über Google Buchsuche zu finden. Bitte entfernen Sie das Wasserzeichen nicht.

+ *Bewegen Sie sich innerhalb der Legalität* Unabhängig von Ihrem Verwendungszweck müssen Sie sich Ihrer Verantwortung bewusst sein, sicherzustellen, dass Ihre Nutzung legal ist. Gehen Sie nicht davon aus, dass ein Buch, das nach unserem Dafürhalten für Nutzer in den USA öffentlich zugänglich ist, auch für Nutzer in anderen Ländern öffentlich zugänglich ist. Ob ein Buch noch dem Urheberrecht unterliegt, ist von Land zu Land verschieden. Wir können keine Beratung leisten, ob eine bestimmte Nutzung eines bestimmten Buches gesetzlich zulässig ist. Gehen Sie nicht davon aus, dass das Erscheinen eines Buchs in Google Buchsuche bedeutet, dass es in jeder Form und überall auf der Welt verwendet werden kann. Eine Urheberrechtsverletzung kann schwerwiegende Folgen haben.

Über Google Buchsuche

Das Ziel von Google besteht darin, die weltweiten Informationen zu organisieren und allgemein nutzbar und zugänglich zu machen. Google Buchsuche hilft Lesern dabei, die Bücher dieser Welt zu entdecken, und unterstützt Autoren und Verleger dabei, neue Zielgruppen zu erreichen. Den gesamten Buchtext können Sie im Internet unter `http://books.google.com` durchsuchen.



THE GIFT OF
PROF. ALEXANDER ZIWET

Physics
QC
503
.F219
G5
1896

53 Alexander Ziwet 4.6

OSTWALD'S KLASSIKER
DER EXAKTEN WISSENSCHAFTEN.
Nr. 81.

EXPERIMENTAL-UNTERSUCHUNGEN
ÜBER
ELEKTRICITÄT
VON
MICHAEL FARADAY.

I. UND II. REIHE.

(1832.)

WILHELM ENGELMANN IN LEIPZIG.

59

Alexander Ziwet

Experimental-Untersuchungen

über

ELEKTRICITÄT

von

MICHAEL FARADAY.

(Aus den Philosoph. Transact. f. 1832.)

Herausgegeben

von

A. J. v. Oettingen.

Mit 41 Figuren im Text.

LEIPZIG

VERLAG VON WILHELM ENGELMANN

1896.

QC
503
.F219
G5
1896

For Physics lib.
pt.
Prof. Alex. Zwet
5-1-1923

[91]

1. Experimental-Untersuchungen über Elektricität

von

Michael Faraday.

Philosophical Transactions f. 1832. — Poggendorff's Annalen der Physik und Chemie. Band XXV.

Erste Reihe.

Entdeckung der inducirten Ströme.

1. Das Vermögen der Spannungs-Elektricität, einen entgegengesetzt elektrischen Zustand in ihrer Nähe hervorzurufen, wird allgemein durch den Ausdruck Induction bezeichnet; da derselbe in die wissenschaftliche Sprache aufgenommen worden ist, kann es nicht unpassend erscheinen, ihn in ebenso allgemeiner Bedeutung auch für die Kraft zu gebrauchen, vermöge welcher elektrische Ströme benachbarte Körper aus einem indifferenten in einen eigenthümlichen versetzen.

2. Gewisse Wirkungen der Induction elektrischer Ströme sind bereits bekannt, z. B. die der Magnetisirung, *Ampère*'s Erfahrung bei Annäherung einer Kupferscheibe an eine flache Spirale, seine Wiederholung der ausserordentlichen Versuche *Arago*'s mittelst Elektro-Magnete, und vielleicht noch einige andere. Indess schien es nicht wahrscheinlich, dass damit schon alle durch Induction elektrischer Ströme möglichen Erscheinungen erschöpft sein sollten, besonders, da sie eigentlich nur beim Eisen deutlich [92] hervortreten, und also noch eine Anzahl anderer Körper, die bei der Spannungs-Elektricität unzweifelhaft influencirt werden, in Bezug auf Induction strömender Elektricität zu untersuchen übrig blieben.

423169

3. Da ferner jeder elektrische Strom senkrecht gegen seine Richtung von einer magnetischen Action begleitet wird, so würde es, nach *Ampère*'s schöner Theorie, wie nach jeder andern, sehr ungewöhnlich gewesen sein, wenn nicht ein solcher Strom, innerhalb seines Wirkungskreises, in guten Leitern einen Strom oder eine dem gleichwerthige Kraft erzeugt haben sollte.

4. Diese Betrachtungen und die daraus geschöpfte Hoffnung, Elektricität durch gewöhnlichen Magnetismus erregt zu erhalten, haben mich zu verschiedenen Zeiten veranlasst, Versuche über die inducirende Wirkung elektrischer Ströme anzustellen. Vor Kurzem endlich bin ich zu entscheidenden Resultaten gelangt, welche nicht nur meine Hoffnungen erfüllt, sondern mich auch zu einer, wie es scheint, vollständigen Erklärung der magnetischen Erscheinungen *Arago*'s geführt haben, so wie zu der Entdeckung eines neuen Zustandes, der wahrscheinlich auf einige der wichtigsten Wirkungen elektrischer Ströme von grossem Einfluss ist.

5. Die erlangten Resultate werde ich nicht in der Ordnung, wie sie entdeckt sind, sondern in der beschreiben, wie sie den klarsten Ueberblick über das Ganze gewähren.

I. Induction elektrischer Ströme.

6. Ein Kupferdraht, von etwa 26 Fuss Länge und einem zwanzigsten Zoll in Dicke, wurde in Schraubenlinie um einen Holzcylinder gewickelt und, damit seine Windungen sich nicht berührten, ein Zwirnsfaden zwischen dieselben gelegt. Dann ward die ganze Lage mit Calico überzogen, und ein zweiter Draht in gleicher Weise darauf gewickelt. So wurden im Ganzen zwölf Drähte, durchschnittlich [93] jeder 27 Fuss lang, in gleicher Richtung gewunden, über einander gebracht. Der erste, dritte, fünfte, siebente, neunte und elfte dieser Drähte wurden durch ihre Enden mit einander verknüpft, so dass sie einen einzigen Schraubendraht bildeten. Auf ähnliche Weise wurden auch die übrigen Drähte verbunden, so dass also im Ganzen zwei Schraubendrähte vorhanden waren, die, jeder 155 Fuss lang, gleiche Richtung hatten, und einander abwechselnd einschlossen, ohne sich irgendwo zu berühren.

7. Der eine dieser Schraubendrähte wurde mit dem Galvanometer verbunden, der andere mit einer gut geladenen *Volta*'schen Batterie von zehn Paar Platten, eine jede von

4 Zoll im Quadrat, die kupfernen indessen doppelt genommen. Dennoch war an der Nadel des Galvanometers nicht die mindeste Ablenkung wahrnehmbar. [1])

8. Nun wurde ein ähnlicher zusammengesetzter Schraubendraht aus sechs Kupferdrähten und sechs weichen Eisendrähten verfertigt. Die Eisendrähte waren vereint 214 Fuss lang, die Kupferdrähte zusammen 208 Fuss. Allein auch jetzt zeigte sich keine Wirkung am Galvanometer, der Strom mochte durch den kupfernen oder eisernen Schraubendraht geleitet werden.

9. Bei diesen und vielen andern Versuchen ähnlicher Art liess sich auch durchaus kein Unterschied in der Wirkung zwischen Eisen und einem andern Metalle wahrnehmen.

10. Ein Kupferdraht von 203 Fuss Länge wurde, in einem Stück, um eine grosse Walze von Holz gewickelt, und zwischen seinen Windungen, indess durch Zwirnsfaden an jeder directen Berührung derselben gehindert, ein zweiter ähnlicher Draht von gleicher Länge. Der eine dieser Schraubendrähte wurde mit dem Galvanometer, der andere mit einer gut geladenen Batterie von hundert Paaren derselben Art wie in (7) verbunden. Im Moment der Verbindung des Drahts mit der Batterie war eine plötzliche, aber sehr [94] geringe Wirkung auf das Galvanometer sichtbar, und eine ähnliche schwache Wirkung zeigte sich, als diese Verbindung aufgehoben wurde. So lange indess der elektrische Strom fortfuhr durch den einen Schraubendraht zu gehen, konnte keine Spur von irgend einer Wirkung bemerkt werden, obschon die Batterie sehr kräftig war, wie aus der Erhitzung des ganzen Schraubendrahts und aus den glänzenden Funken bei Entladung mittelst Kohlenspitzen hervorging.

11. Die Wiederholung dieser Versuche mit einer Batterie von 120 Plattenpaaren gab keine anderen Resultate. Allein es zeigte sich hier, wie schon früher, dass die Ablenkung der Nadel im Moment des Schliessens von entgegengesetzter Richtung war, als die ähnliche schwache Ablenkung im Moment des Oeffnens der Kette. Dasselbe geschah bei Anwendung der erstgenannten Schraubendrähte (6, 8).

12. Die Resultate, welche ich späterhin mit Magneten erhielt, liessen mich vermuthen, dass der *Volta*'sche Strom, der durch den einen Draht geht, wirklich in dem zweiten Draht einen ähnlichen Strom erregt, der aber nur von augenblicklicher Dauer ist, und seiner Natur nach mehr Aehnlichkeit

hatte mit der elektrischen Welle, die beim Entladen einer Leidener Flasche überspringt, als mit der einer *Volta*'schen Batterie; weil er, ungeachtet er kaum auf das Galvanometer wirkt, dennoch Stahlnadeln zu magnetisiren vermochte.

13. Und meine Vermuthung bestätigte sich. Denn, als statt des Galvanometers ein um eine Glasröhre gewundener Schraubendraht genommen, in die Röhre eine Stahlnadel gesteckt, darauf der erregende Draht (7, 10) wie früher mit der Batterie verbunden, und nun, vor der Aufhebung dieser Verbindung, die Nadel fortgezogen ward, erwies sie sich magnetisch.

14. Wurde die Verbindung mit der Batterie zuerst vollzogen, dann eine unmagnetisirte Nadel in den kleinen [95] Schraubendraht gesteckt, und nun diese Verbindung wieder aufgehoben, so hatte die Nadel einen, wie es schien, eben so starken Magnetismus wie zuvor erhalten, aber ihre Pole lagen umgekehrt.

15. Dieselben Erscheinungen zeigten sich beim Gebrauch der vorhin beschriebenen grossen zusammengesetzten Schraubendrähte (6, 8).

16. Als die unmagnetisirte Nadel, vor dem Verbinden des erregenden Drahts mit der Batterie, in den kleinen Schraubendraht gesteckt, und bis nach der Aufhebung jener Verbindung darin gelassen wurde, besass sie wenig oder keinen Magnetismus, da die erste Wirkung durch die zweite fast vernichtet worden war (13, 14). Der beim Schliessen erregte Strom zeigte sich von grösserer Kraft, als der beim Oeffnen der Batterie, und wenn daher die Batterie mehrmals abwechselnd geschlossen und geöffnet wurde, während die Nadel in dem kleinen Schraubendraht blieb, kam sie zuletzt nicht unmagnetisch, sondern so magnetisirt heraus, wie wenn der beim Schliessen erregte Strom allein auf sie gewirkt hätte. Diese Wirkung rührt vielleicht von einer (sogenannten) Anhäufung der Elektricität an den Polen der ungeschlossenen Säule her, durch welche der Strom beim Schliessen kräftiger wird, als hernach beim Oeffnen.

17. Wurde der zur Induction bestimmte Schraubendraht mit dem Galvanometer erst verbunden, nachdem die Verbindung zwischen der Batterie und dem erregenden Draht bewerkstelligt oder aufgehoben war, so liessen sich keine Wirkungen am Galvanometer wahrnehmen. Eben so wenn die *Volta*'sche Batterie zuerst geschlossen, und dann der zur

Vertheilung bestimmte Draht mit dem kleinen Schraubendraht verbunden ward, zeigte letzterer keine magnetisirende Kraft. Unterhielt man jedoch die letztere Verbindung, während die Schliessung der Batterie unterbrochen ward, so wurde die Nadel in dem kleinen Schraubendraht [96] zu einem Magnet, aber zu einem zweiter Art, d. h. dessen Pole einen Strom anzeigten, von gleicher Richtung mit dem der Batterie, oder in demselben Sinne, wie in dem vorhin genannten Falle.

18. Bei den vorhergehenden Versuchen waren die Drähte nahe an einander angebracht, und wenn man die Wirkung haben wollte, wurde der inducirende Draht mit der Batterie in Verbindung gesetzt. Da indess der Act des Schliessens und Oeffnens der Kette möglicherweise von einer besondern Action begleitet sein könnte, so wurde nun die Induction auf einem anderen Wege bewerkstelligt. Ein mehrere Fuss langer Kupferdraht wurde in weiten Zickzack-Biegungen, ähnlich einem W, auf der einen Seite eines breiten Bretts ausgespannt; und eben so ein zweiter Draht auf einem andern Brette befestigt; ferner der eine dieser Drähte mit dem Galvanometer, und der andere mit der *Volta*'schen Batterie verbunden. Als nun das erste Brett mit seinem Draht dem zweiten rasch genähert wurde, wich die Nadel ab, eben so auch beim Wegziehen desselben, aber nach der entgegengesetzten Seite. Geschah das Nähern und Entfernen der Bretter in Uebereinstimmung mit den Schwingungen der Magnetnadel, so wurden diese sehr gross; hörte man aber mit dem Hin- und Wegführen des Drahtes auf, so kehrte die Nadel auch bald in ihre gewöhnliche Lage zurück.[2])

19. Bei gegenseitiger Näherung der Drähte war der inducirte Strom von *entgegensetzter* Richtung mit dem inducirenden Strom. Bei Entfernung der Drähte von einander hatte der erregte Strom dagegen gleiche Richtung, wie der erregende. Blieben die Drähte in gleichem Abstande, so war auch kein inducirter Strom vorhanden (54).

20. Wenn in den Bogen zwischen dem Galvanometer und Schraubendraht (10) eine kleine galvanische Kette eingeschaltet wurde, so dass die Nadel eine Ablenkung von 30^0 bis 40^0 erlitt, und man nun die [97] Batterie von hundert Plattenpaaren mit dem erregenden Draht verband, so fand wie zuvor eine augenblickliche Wirkung statt (11); allein die Nadel kehrte sogleich in ihre frühere Stellung zurück und behielt sie, ungeachtet die Batterie fortwährend durch den

erregenden Draht geschlossen blieb. So verhielt es sich immer, in welchem Sinne auch die Schliessung bewerkstelligt wurde (33).

21. Hieraus erhellt, dass neben einander liegende Ströme, von gleicher oder entgegengesetzter Richtung, keine permanente Induction, welche ihre Stärke oder Spannung störte, auf einander ausüben.

22. Ich konnte weder Wirkungen auf die Zunge, noch Funken, noch Erhitzung eines feinen Drahts oder Kohle erhalten, welche Beweise für den Durchgang von Elektricität durch den unter Induction stehenden Draht gegeben hätten; eben so wenig konnte ich irgend eine chemische Wirkung bekommen. (13. 16.)

23. Diese Wirkungslosigkeit rührt nicht etwa davon her, dass der secundäre elektrische Strom nicht durch Flüssigkeiten gehen könnte, sondern wahrscheinlich von seiner kurzen Dauer und schwachen Intensität. Denn wenn man in den Bogen, der die Induction zu erleiden bestimmt ist, zwei grosse Kupferplatten bringt (20) und in Salzwasser taucht, jedoch, damit sie sich nirgends berühren, durch einen Tuchlappen geschieden, so zeigt sich nach wie vor die Wirkung am Galvanometer, oder in dem denselben ersetzenden Schraubendraht. Die inducirte Elektricität geht also durch die Flüssigkeit (20). Als indess die Menge der Flüssigkeit auf einen Tropfen reducirt ward, gab die Nadel des Galvanometers keine Anzeigen mehr.

24. Versuche, ähnliche Wirkungen mittelst Durchleitung gewöhnlicher Elektricität durch Drähte zu erhalten, gaben zweifelhafte Resultate. Es diente hierzu ein zusammengesetzter Schraubendraht, ähnlich dem vorhin (6) beschriebenen, und acht einzelne Schraubendrähte enthaltend. [98] Vier dieser Schraubendrähte wurden mit ihren gleichliegenden Enden zusammengebunden und dann die beiden Enden des vierfachen Drahts mit dem kleinen Schraubendraht, der eine unmagnetisirte Nadel enthielt (13), in Verbindung gesetzt. Die vier andern Drähte, auf ähnliche Weise verknüpft, wurden mit einer Leidner Flasche verbunden. Nach Entladung der Flasche durch diesen Schraubendraht fand sich die Nadel magnetisch. Allein vermuthlich war ein Theil der elektrischen Entladung in den kleinen Schraubendraht übergesprungen, und hat so die Nadel magnetisirt. Es war auch in der That kein Grund zu der Annahme vorhanden, dass eine

Elektricität von solcher Spannung, wie die einer Leidner Flasche, sich nicht durch alle die zwischen den Ueberzügen befindlichen Drahtgänge verbreiten sollte.

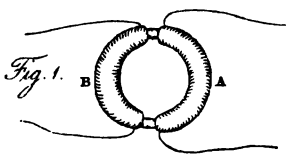
25. Indess folgt daraus nicht, dass die Entladung der gewöhnlichen Elektricität durch Drähte nicht ähnliche Erscheinungen, wie die *Volta*'sche Elektricität, sollte hervorbringen können. Da es aber unmöglich scheint, die Wirkungen der anfangenden Entladung von der gleichstarken, aber entgegengesetzten der aufhörenden Entladung zu trennen (16), in sofern bei der gewöhnlichen Elektricität Anfang und Ende der Entladung gleichzeitig sind, so steht schwerlich zu hoffen, dass der Versuch in dieser Gestalt gelingen werde.

26. Hieraus erhellt, dass die *Volta*'schen Ströme hinsichtlich der Inductions-Phänomene, die sie hervorrufen, einigermaassen der Spannungs-Elektricität ähnlich sind, obgleich sie auch, wie man weiterhin sehen wird, in manchen Stücken von dieser abweichen. Das Resultat ist die Erzeugung anderer, indess nur momentaner Ströme, die dem erregenden Strom parallel sind, oder zu werden trachten. Durch die Polarisationsart der Nadel in dem kleinen Schraubendraht (13, 14) und durch die Ablenkungsrichtung der Galvanometernadel (11) findet man, dass der erregende Strom bei seinem Beginn [**99**] einen secundären Strom von umgekehrter, bei seinem Aufhören aber einen secundären Strom von gleicher Richtung mit der seinigen hervorruft. Um Missverständnissen vorzubeugen, schlage ich vor, diese Wirkung der *Volta*'schen Batterie (**131**) *voltaelektrische Induction* zu nennen. Die Eigenschaften des Drahts, nachdem darin der erste secundäre Strom hervorgerufen worden, und während die Elektricität der *Volta*'schen Batterie fortfährt, durch den erregenden Draht in seiner Nähe hindurch zu strömen (10, 18), macht einen eigenthümlichen elektrischen Zustand aus, den ich weiterhin noch näher betrachten werde. Alle diese Resultate wurden mit einem *Volta*'schen Apparat erhalten, dessen Platten zu einem einzigen Paare combinirt waren.

II. Elektricitätserregung durch Magnetismus.

27. Aus einer runden Stange weichen Eisens von sieben Achtelzoll Dicke wurde ein Ring von sechs Zoll äusserem Durchmesser geschmiedet, und ein neun Zoll langes Stück dieses Ringes mit drei Kupferdrähten, jeder von 24 Fuss Länge

und $^1/_{20}$ Zoll Dicke, über einander auf die vorhin (6.) beschriebene Weise umwickelt, so dass die Drahtlagen unter sich und dem Eisen isolirt waren. Das System dieser Drähte, die einzeln wie verbunden angewandt werden konnten, ist in Fig. 1 mit *A* bezeichnet. *B* bedeutet ein zweites, in gleicher Richtung wie *A* gewickeltes, System von Drahtwindungen, gebildet aus zwei Kupferdrähten von 30 Fuss Länge, und geschieden von *A* an beiden Enden durch eine unbedeckte Strecke Eisen von einem halben Zoll.



28. Die Windungen *B* wurden durch Kupferdrähte mit einem drei Fuss vom Ring entfernten Galvanometer verbunden, und die Drähte *A*, mit ihren Enden zu einer einzigen Schraubenlinie verknüpft, mit einer Batterie von zehn Paaren vier quadratzölliger Platten. Augenblicklich zeigte sich eine Wirkung auf das Galvanometer, und zwar eine bei weitem stärkere, als zuvor, da eine zehnmal kräftigere Batterie, ohne Mitwirkung von Eisen, angewandt ward (10). Allein obgleich die Batterie geschlossen [**100**] blieb, war die Wirkung doch nicht dauernd; bald kehrte die Nadel in ihre natürliche Lage zurück. Beim Oeffnen der Kette wurde die Nadel indess wieder mächtig abgelenkt, und zwar nach entgegengesetzter Seite wie zuvor.

29. Die Abänderung des Versuchs in der Art, dass *B* unbenutzt gelassen, das Galvanometer mit einem der drei Drähte *A* verbunden, und die Batterie durch die vereinten beiden andern Drähte geschlossen wurde (28), gab ähnliche, nur noch kräftigere Wirkungen.

30. Geschah die Schliessung in dieser oder jener Richtung, so wich auch die Nadel nach der einen oder der andern Seite hin ab. Beim Oeffnen der Kette war die Ablenkung immer die umgekehrte von der beim Schliessen. Die Ablenkung beim Schliessen zeigte immer einen secundär erregten Strom an, der in Richtung dem der Batterie entgegengesetzt war; beim Oeffnen der Kette hatte dagegen der secundäre erregte Strom immer gleiche Richtung mit dem der Batterie. Kein Oeffnen und Schliessen der *B* Windungen, oder irgend eines Theiles des galvanometrischen Bogens, hatte einen Einfluss auf die Nadel des Galvanometers. Auch bewirkte die Fort-

dauer des *Volta*'schen Stroms keine Ablenkung dieser Nadel. Da die obigen Resultate allen diesen und den ähnlichen weiterhin mit Magnetstäben angestellten Versuchen gemeinsam sind, so halte ich es für unnöthig, sie ferner noch zu beschreiben.

31. Mit Anwendung dieses Ringes und der Batterie von hundert Plattenpaaren (10) war der Impuls auf das Galvanometer, beim Schliessen wie beim Oeffnen der Kette, so gross, dass die Nadel sich schnell vier- oder fünfmal im Kreise drehte, ehe der Widerstand der Luft und der Erdmagnetismus diese Axendrehung auf blosse Oscillationen zurückführen konnte.

32. Nach Ansetzung von Kohlenspitzen an die Enden des Schraubendrahts *B* konnte im Moment des Schliessens [101] der Batterie *A* ein kleiner Funke wahrgenommen werden. Dieser Funke rührte nicht etwa davon her, dass der Strom der Batterie theilweise durch das Eisen zu dem Schraubendraht übergesprungen wäre; denn, wenn die Batterie geschlossen blieb, nahm die Galvanometer-Nadel ihre natürliche Lage vollkommen wieder an (28). Beim Aufheben der Schliessung war selten ein Funken sichtbar. Ein kleiner Platindraht liess sich durch den secundären Strom nicht ins Glühen versetzen; allein alles lässt glauben, dass dies mit dem Strom einer kräftigeren Batterie, oder mit einem wirksameren Schraubendraht gelungen sein würde.

33. Ein schwacher *Volta*'scher Strom wurde durch den Schraubendraht *B* und das Galvanometer geleitet, um die Nadel in letzterem um 30^0 bis 40^0 abzulenken, und dann die Batterie von 100 Plattenpaaren mit *A* verbunden. Nachdem indess die erste Wirkung vorüber war, nahm die Galvanometer-Nadel genau die Stellung wieder an, welche sie in Folge des durch den Draht *B* geleiteten schwachen Stroms früher besass. Dies fand statt, in welch einem Sinne die Schliessung der Batterie auch bewerkstelligt worden war, was abermals zeigte (20), dass die Ströme, in Bezug auf ihre Stärke und Tension, keinen dauernden Einfluss auf einander ausüben.

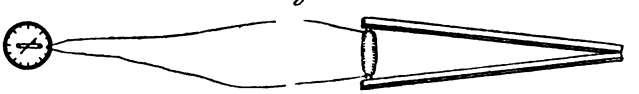
34. Es wurde nun eine solche Einrichtung getroffen, dass sich die früheren Versuche über Induction durch *Volta*'sche Ströme mit den gegenwärtigen verknüpfen liessen. Zu dem Ende wurde ein hohler Papp-Cylinder mit einer Combination von Schraubendrähten, ähnlich der in (6) beschriebenen, umgeben. Sie enthielt acht Kupferdrähte, zusammen von 220 Fuss Länge; vier derselben wurden, Ende an Ende geknüpft, mit dem Galvanometer (7) verbunden, die vier dazwischen

gewickelten aber, nachdem sie ebenfalls mit ihren Enden vereint waren, zur Schliessung der Batterie von 100 Plattenpaaren benutzt. Mit dieser Vorrichtung war die Wirkung auf das Galvanometer [**102**] kaum merklich (11), doch konnten mit dem secundären Strom Stahlnadeln magnetisirt werden (13). Als aber ein $^7/_8$ Zoll dicker und 12 Zoll langer Cylinder von weichem Eisen in die mit den Schraubendrähten umwickelte Pappröhre gesteckt wurde, wirkte der secundäre Strom mächtig und mit all den schon beschriebenen Erscheinungen auf das Galvanometer (30); auch besass er das Vermögen, Stahl zu magnetisiren, anscheinend in noch höherem Grade, als wenn kein Eisencylinder zugegen war.

35. Wurde statt des Eisenstabes ein gleicher Stab von Kupfer genommen, so war keine Wirkung da, die nicht schon die Schraubendrähte für sich ausgeübt hätten. Diese Vorrichtung mit dem Eisenstab wirkte übrigens nicht so kräftig als die schon beschriebene mit dem Ring (27).

36. Aehnliche Wirkungen wurden nun durch *gewöhnliche Magnetstäbe* hervorgebracht. Es wurden nämlich die auf der Pappröhre (34.) befindlichen Schraubendrähte, nachdem sie unter sich zu einem Ganzen vereint waren, durch zwei Kupferdrähte von fünf Fuss Länge mit dem Galvanometer verbunden, dann in die Axe der Röhre ein Cylinder von weichem Eisen gestellt, und nun zwei Magnetstäbe, deren jeder 24 Zoll lang war, mit den entgegengesetzten Polen ihrer einen Enden hufeisenartig in Berührung gebracht, und mit denen der andern auf die Enden des Eisencylinders gelegt, so dass dieser ein Magnet

Fig. 2.



werden musste (Fig. 2). Durch Fortnahme oder Umkehrung der Magnetstäbe konnte der Magnetismus des Eisencylinders nach Belieben aufgehoben oder umgekehrt werden.

37. Bei Auflegung der Magnetstäbe auf den Eisencylinder wich die Nadel ab; bei fortdauernder Berührung desselben aber kehrte sie in ihre anfängliche Lage zurück; bei Aufhebung des Contacts wurde sie abermals abgelenkt, aber nach entgegengesetzter Seite wie zuvor, und dann nahm sie wieder

die ursprüngliche Lage an. Wurden [103] die Magnetstäbe in umgekehrter Stellung aufgelegt, waren auch die Ablenkungen umgekehrt.[3])

38. Bei Auflegung der Magnetstäbe auf den Eisenstab war der secundäre Strom, wie es die Ablenkung zeigte, von entgegengesetzter Richtung mit dem, welcher den Eisenstab so magnetisirt haben würde, wie es durch die Berührung mit den Magnetstäben wirklich geschah. Wenn z. B. der gezeichnete und ungezeichnete Pol so gestellt wurde, wie in Fig. 3, hatte der Strom in dem Schraubendraht die dort abgebildete Richtung, wo P das zu dem positiven Pol oder den Zinkplatten, und N das zum negativen Pol der Säule führende Ende ist. Solch ein Strom würde den Eisenstab in umgekehrter Richtung magnetisirt haben, als der Contact der Pole A und B; auch bewegt sich dieser Strom in entgegengesetzter Richtung, als die Ströme, welche nach Hrn. *Ampère*'s schöner Theorie einen Magnet in der abgebildeten Stellung constituiren.[4])

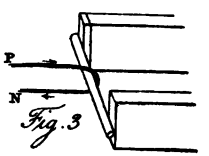


Fig. 3

39. Da man glauben könnte, dass der in den vorhergehenden Versuchen inducirte momentane Strom durch eine besondere, bei der Bildung des Magnetes stattfindende Wirkung, und nicht durch die blosse Annäherung hervorgebracht worden sei, so wurde der folgende Versuch angestellt. Alle gleichliegenden Enden des zusammengesetzten Schraubendrahts (34) wurden durch Kupferdraht zusammengebunden, und die dadurch entstandenen zwei Hauptenden mit dem Galvanometer vereint. Der weiche Eisenstab (34) wurde entfernt, und statt dessen ein cylindrischer Magnetstab von $^3/_4$ Zoll im Durchmesser und $8^1/_2$ Zoll in Länge angewandt. Dieser Magnet wurde mit einem Ende in die Axe des Schraubendrahts gestellt (Fig. 4) und, nachdem die Galvanometer-Nadel zur Ruhe gekommen war, plötzlich hineingeschoben. Augenblicklich wich die Nadel ab, in gleicher Richtung, wie wenn [104] der Magnet durch eins der zwei vorhergehenden Verfahren erst gebildet worden wäre (34, 36). Blieb der Magnet darin, so nahm die Nadel wiederum ihre erste Stellung an; wurde er herausgezogen, so wich sie nach ent-

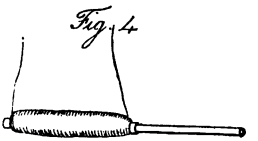


Fig. 4

gegengesetzter Richtung ab. Die Ablenkungen waren nicht gross; indess konnte die Nadel durch ein in Uebereinstimmung mit ihren Bewegungen wiederholtes Hineinstecken und Herausziehen des Magnets zuletzt zu Schwingungen von 180^0 und mehr gebracht werden.

40. Bei diesem Versuche durfte der Magnet nicht ganz durch den Schraubendraht gesteckt werden, weil sonst eine zweite Wirkung eintrat. Wurde der Magnet hineingesteckt, so wich die Nadel in gewisser Richtung ab; wurde er dann, während er darin war, ganz durchgeschoben oder zurückgezogen, so wich sie nach entgegengesetzter Seite ab. Wurde der Magnet in einem Zuge ganz durch den Schraubendraht geführt, so wich die Nadel erstlich in einer Richtung ab, blieb dann plötzlich stehen, und ging nun nach der entgegengesetzten Seite.

41. Wenn ein hohler Schraubendraht, wie er in (34) beschrieben ist, in die Richtung von Ost nach West (oder in irgend eine andere constante Richtung) gelegt, und ein Magnetstab in derselben Richtung, mit dem Nordpol z. B. immer gegen Westen gehalten wird, so weicht die Nadel stets in gleicher Richtung ab, welchen der Pole man auch zuerst in den Schraubendraht steckt, und ebenso weicht sie immer in gleicher, aber entgegengesetzter Richtung ab, in welcher Richtung man auch den Magnetstab herauszieht.

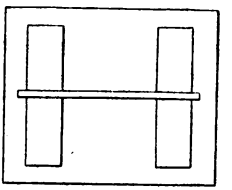
42. Diese Erscheinungen sind einfache Folgen des weiterhin (114) beschriebenen Gesetzes.

43. Die Vereinigung aller acht Drähte zu einem einzigen Schraubendraht that keine so grosse Wirkung, als die (39) beschriebene Anordnung. Bei Anwendung von nur einem der acht Schraubendrähte war die Wirkung ebenfalls sehr viel kleiner. Es waren alle Vorsichtsmaassregeln [105] gegen eine direkte Einwirkung des Magnetstabes auf das Galvanometer getroffen, und es ward gefunden, dass die Bewegung des Magnetes in gleicher Richtung und in gleichem Grade an der Aussenseite des Schraubendrahts keine Wirkung auf die Magnetnadel hatte.

44. Die Königliche Gesellschaft besitzt ein grosses magnetisches Magazin, welches früher dem Dr. *Gowin Knight* gehörte. Durch den Präsidenten und die Vorsteherschaft wurde mir die Benutzung desselben zu diesen Versuchen erlaubt. Es befindet sich gegenwärtig bei Hrn. *Christie* in Woolwich, dem ich für die Unterstützung bei allen diesen Versuchen,

dankbar verpflichtet bin. Dies Magazin besteht aus 450 Magnetstäben, jeder 15 Zoll lang, einen Zoll breit und einen halben Zoll dick, welche in einer Büchse so zusammengestellt sind, dass sie an einem Ende zwei äussere Pole darbieten (Fig. 5). Diese Pole ragen 6 Zoll aus der Büchse, sind im Querschnitt zwölf Zoll hoch und drei Zoll breit, und stehen neun Zoll von einander. Wird ein drei Zoll dicker Cylinder von weichem Eisen quer auf diese Pole gelegt, so ist ein Gewicht von fast hundert Pfund erforderlich, um ihn abzureissen. Der linke Pol in der Figur ist der gezeichnete*).

Fig. 5.



45. Das Galvanometer stand bei allen mit diesem Magnet angestellten Versuchen etwa acht Fuss von demselben entfernt, nicht ihm gerade gegenüber, sondern 16^0 bis 17^0 seitwärts. Es fand sich, dass dieser Magnet beim Anhängen und Abziehen des weichen Eisens ein wenig auf das Galvanometer wirkte; allein alle aus dieser Quelle entstehenden Fehler wurden leicht und sorgfältig vermieden.

[**106**] 46. Die elektrischen Wirkungen mit diesem Magnet waren sehr auffallend. Wurde durch den zusammengesetzten Schraubendraht, dessen einzelne Drähte auf die in (39) angegebene Weise in zwei Enden vereinigt und mittelst dieser mit dem Galvanometer verbunden waren, ein 13 Zoll langer Cylinder von weichem Eisen gesteckt, und dann dieser mit den Polen des Magazins (Fig. 5) in Berührung gebracht, so schoss ein so mächtiger elektrischer Strom über, dass die Nadel mehrmals im Kreise herum wirbelte**).

47. Ungeachtet dieser grossen Kraft kehrte die Nadel, bei Unterhaltung des Contacts, in ihre natürliche Lage zurück.

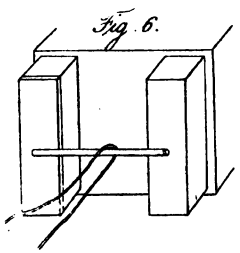
---

*) Um Missverständnissen vorzubeugen, werde ich unter dem gezeichneten Pol den nach Norden zeigenden verstehen. Ich werde hin und wieder vom Nord- und Südende der Nadel reden, ohne damit Nord- und Südpol zu meinen. Einige betrachten den nach Süden weisenden Pol als den wahren Nordpol; allein bei uns wird er oft Südpol genannt.

**) Wird ein weicher Eisenstab, von der Form des Ankers eines Hufeisenmagnetes, in der Mitte mit Draht umwickelt, und dann neben einen Magnet gelegt, so bekommt man einen vorübergehenden, aber deutlichen Strom von Elektricität.

Wurde der Contact aber aufgehoben, so kreiste die Nadel, mit gleicher Kraft wie zuvor, nur in entgegengesetzter Richtung, umher.

48. Eine Kupferplatte, die gleich einer Dille einmal um den Eisencylinder gewickelt worden war, jedoch, um die directe Berührung zu verhindern, mit dazwischen gelegtem Papier, wurde mit ihren Rändern durch Drähte mit dem Galvanometer verbunden. Als darauf der Eisencylinder an die Pole des Magazins gelegt ward, fand eine starke Wirkung auf die Galvanometernadel statt.



49. Es wurde nun, ohne die Schraubendrähte und die Kupferdille, der Draht des Galvanometers einmal um den Eisencylinder geschlagen (Fig. 6); allein auch diesmal zeigte sich eine starke Wirkung, wenn der Cylinder an die Pole gehängt oder von ihnen abgezogen ward.

50. Als der Schraubendraht mit seinem Eisencylinder den Magnetpolen bloss genähert wurde, ohne sie in Berührung zu setzen, fanden noch starke Wirkungen statt. Wurde der Schraubendraht für sich, ohne den Eisencylinder, also nur Kupfer enthaltend, [**107**] den Polen genähert, oder zwischen dieselben gestellt (44), so wurde die Nadel um 80^0 bis 90^0 und mehr aus ihrer natürlichen Lage gerissen. Die Inductionskraft war also desto stärker, je näher der Schraubendraht, mit oder ohne Eisenstab, an die Pole gebracht wurde. Sonst aber waren die Wirkungen gleich, der Schraubendraht u. s. w. mochte oder mochte nicht mit dem Magnet in Berührung gesetzt sein, d. h. es fand keine bleibende Ablenkung des Galvanometers statt, und die Wirkung des Näherns und Entfernens waren einander entgegengesetzt (30).

51. Ein Bolzen von Kupfer, statt des Eisencylinders, in den Schraubendraht gesteckt, erhöhte die Wirkung des letzteren durchaus nicht; allein ein dicker Eisendraht statt seiner genommen, verstärkte die Wirkung bedeutend.

52. Was die Richtung betrifft, war der elektrische Strom in allen diesen Versuchen mit dem Schraubendraht dem früher mit schwächeren Magnetstäben erhaltenen gleich (38).

53. Eine Spirale aus einem 14 Fuss langen Kupferdraht bestehend und mit dem Galvanometer verbunden, wirkte stark

auf dieses Instrument, als sie dem gezeichneten Pol geradezu in der Linie der Axe genähert wurde. Der in ihr inducirte Strom war von umgekehrter Richtung als der, welcher nach *Ampère*'s Theorie in dem Magnet vorhanden ist (38), oder als der Strom eines Elektro-Magnetes von ähnlicher Polarität. Beim Fortziehen der Spirale kehrte sich der Strom in ihr um.

54. Eine ähnliche Spirale wurde durch Verbindung mit einer Batterie von achtzig vierzölligen Platten zu einem Elektro-Magnet gemacht, und ihm dann die erstere mit dem Galvanometer (53) verbundene Spirale genähert. Die Nadel zeigte durch ihre Abweichung einen Strom in der galvanometrischen Spirale an, von entgegengesetzter Richtung mit dem in der andern, die Kette schliessenden [**108**] Spirale (18, 26). Beim Fortziehen der letzteren Spirale ging die Nadel nach der entgegengesetzten Seite.

55. Auch einfache Drähte, die in gewissen Richtungen dem Magnetpol genähert wurden, gaben secundäre Ströme; beim Fortziehen derselben kehrten sich diese Ströme um. Die Drähte dürfen hierbei in keiner andern Richtung fortgezogen werden, als in der sie genähert wurden, weil sonst verwickelte und unregelmässige Erscheinungen auftreten, wovon man im vierten Theile dieser Abhandlung die Ursache genügend einsehen wird.

56. Alle Versuche, chemische Wirkungen durch den secundären elektrischen Strom zu erhalten, schlugen fehl, obgleich die vorhin beschriebenen (22) und alle sonst noch erdenklichen Vorsichtsmaassregeln angewandt wurden. Eben so wenig gelang es, eine Empfindung auf der Zunge zu erhalten, oder einen Frosch in Zuckungen zu versetzen, oder Kohle, oder einen feinen Draht zum Erglühen zu bringen (133). Als ich indess später bei grösserer Musse die Versuche in der *Royal Institution* mit einem armirten natürlichen Magnet, der Hrn. *Daniell* gehörte und etwa dreissig Pfund trug, wiederholte, wurde ein Frosch bei jedesmaligem Anhängen des Ankers in sehr lebhafte Zuckungen versetzt. Beim Abziehen des Ankers konnten anfänglich keine Zuckungen erhalten werden, allein dies rührte nur von der verhältnissmässigen Langsamkeit der Trennung her; denn als diese durch einen Hammerschlag bewerkstelligt wurde, zuckte der Frosch stark. Je plötzlicher das Anhängen oder Abtrennen geschah, desto kräftiger war das Zucken. Ich glaubte auch eine Empfindung

auf der Zunge und ein Blitzen vor den Augen zu verspüren. konnte aber keinen Beweis von chemischer Action erhalten.

57. Die mannigfachen Versuche in diesem Abschnitt beweisen, wie ich glaube, auf das Vollständigste, dass Elektricität durch den gewöhnlichen Magnetismus erregt werden kann. Dass sie an Intensität sehr schwach und [109] an Menge gering ist, kann nicht wunderbar erscheinen, wenn man bedenkt, dass sie, gleich der Thermo-Elektricität, gänzlich in so stark leitenden Metallen erregt wird. Denn ein Agens, welches von Metalldrähten in der beschriebenen Weise geleitet wird, welches bei diesem Durchgang die Kraft und die eigenthümliche magnetische Wirkung eines elektrischen Stroms ausübt, welches den Frosch in Zuckungen versetzt, und welches endlich bei seiner Entladung durch Kohle (32) Funken hervorbringt, kann nichts anders als Elektricität sein. Da sich alle diese Erscheinungen durch eiserne Elektro-Magnete (34) hervorbringen lassen, so werden ohne Zweifel ähnliche Vorrichtungen, wie die Magnete der Herren *Moll*, *Henry*, *Ten Eyck* u. s. w.*), von denen einer mehr als zweitausend Pfund getragen hat, zu diesen Versuchen anwendbar sein, und nicht nur stärkere Funken geben, sondern auch Drähte ins Erglühen versetzen und, da der Strom auch durch Flüssigkeiten zu gehen vermag (23), selbst chemische Wirkungen hervorbringen. Noch wahrscheinlicher ist es, diese Wirkungen zu bekommen, wenn die im vierten Abschnitt beschriebenen elektro-magnetischen Vorrichtungen durch die Kraft solcher Magnete erregt werden.

58. Die Aehnlichkeit, ja fast Gleichheit der Wirkung zwischen den gewöhnlichen Magneten und den Elektro-Magneten oder den *Volta*'schen Strömen, ist eine überraschende Bestätigung von Hrn. *Ampère*'s Theorie, und liefert die gewichtigsten Gründe zu glauben, dass die Action in beiden Fällen dieselbe sei. Da indess in der Sprache noch eine Unterscheidung nöthig ist, so schlage ich vor, die Wirkung der gewöhnlichen Magnete *magneto-elektrische Induction* (26) zu nennen.

59. Der einzige, sehr in die Augen fallende Unterschied zwischen der volta-elektrischen und magneto-elektrischen Induction ist die Plötzlichkeit der ersten und [110] die merkliche Zeit, welche die letztere erfordert. Allein schon im gegenwärtigen Zustand unserer Kenntnisse giebt es Umstände,

*) s. Pogg. Ann. Bd. 24. S. 639.

die anzudeuten scheinen, dass dieser Unterschied bei fernerer Untersuchung verschwinden werde (68).

III. Neuer elektrischer Zustand der Materie*).

60. So lange ein Draht der volta-elektrischen oder magneto-elektrischen Induction unterworfen ist, scheint er sich in einem besondern Zustand zu befinden, denn er widersteht der Bildung eines elektrischen Stromes in ihm, was er in seinem gewöhnlichen Zustand nicht vermag; und wenn er jener Wirkung nicht mehr ausgesetzt wird (*left uninfluenced*), hat er die Kraft, einen Strom hervorzubringen, eine Kraft, welche der Draht unter den gewöhnlichen Umständen nicht besitzt. Dieser elektrische Zustand der Materie ist bisher noch nicht beobachtet worden, allein er übt wahrscheinlich auf einige, wenn nicht die meisten, der von elektrischen Strömen hervorgebrachten Erscheinungen einen sehr wichtigen Einfluss aus. Aus sogleich (71) ersichtlichen Gründen habe ich, nach Berathung mit mehreren gelehrten Freunden, gewagt, ihn als den *elektro-tonischen Zustand* zu bezeichnen.

61. Dieser elektrische Zustand zeigt, so lange er besteht, keine bekannten elektrischen Erscheinungen; auch habe ich nicht finden können, dass die Materie in diesem Zustande sonst eine eigenthümliche Kraft ausübe oder besondere Eigenschaft besitze.

62. Sie wirkt weder anziehend noch abstossend, wie es die verschiedenartigen Versuche beweisen, welche ich mit kräftigen Magnetstäben bei Metallen, wie Kupfer, [111] Silber und überhaupt bei nichtmagnetischen Substanzen, angestellt habe. Ich habe Kupfer- und Silberscheiben, die sehr beweglich im Vacuo an eine Drehwage aufgehängt waren, die Pole eines sehr starken Magnets genähert, war aber nicht im

*) Nachdem dieser Abschnitt in der Royal Society vorgetragen war und nachdem ich alsdann in einem Briefe an Herrn *Hachette* dem französischen Institute Mittheilung gemacht hatte, sah ich mich genöthigt, denselben hier an seiner Stelle stehen zu lassen, obwohl spätere Untersuchungen (besonders 73, 76 und 77) über diese Erscheinungen mich zu der Ueberzeugung gebracht haben, dass sie vollkommen gut ohne Annahme eines »elektrotonischen Zustandes« erklärt werden können. Das Nähere erläutere ich in der zweiten Reihe dieser Untersuchungen.[5])

Stande, das Mindeste von Anziehung und Abstossung wahrzunehmen.

63. Ich hing einen schmalen Goldblattstreifen sehr nahe bei einer Kupferstange auf, und setzte beide an ihren Enden mit Quecksilber in metallischen Contact. Dann brachte ich sie in ein Vacuum, so dass Metallstäbe, die mit den Enden dieser Vorrichtung in Verbindung gesetzt waren, durch die Seiten des Gefässes in die Luft gingen. Ich näherte dann dieser Vorrichtung kräftige Magnete in verschiedenen Richtungen, während der metallische Bogen an der Aussenseite zuweilen durch Drähte geschlossen, zuweilen unterbrochen ward. Niemals konnte ich aber eine merkliche Bewegung des Goldblatts erhalten, weder gegen den Magnetstab, noch gegen die zur Seite befindliche Kupferstange, welche, was die Induction betrifft, sich mit ihm in gleichem Zustand befinden musste.

64. Zwar hat man hin und wieder unter solchen Umständen anziehende und abstossende Kräfte beobachtet, d. h. solche Körper schwach magnetisch gefunden haben wollen; allein die oben beschriebenen Erscheinungen, vereint mit dem Zutrauen, das wir mit Grund in Hrn. *Ampère*'s Theorie vom Magnetismus setzen können, werfen einige Zweifel auf diese Beobachtungen. Denn, wenn der Magnetismus auf der Anziehung elektrischer Ströme beruht, und die kräftigen Ströme, welche durch volta-elektrische wie durch magneto-elektrische Induction anfänglich erregt werden, augenblicklich verschwinden (12, 28, 47), wobei zugleich eine gänzliche Vernichtung der magnetischen Wirkungen auf die Galvanometer-Nadel eintritt, so ist wenig oder keine Hoffnung da, dass irgend eine Substanz, Eisen, Nickel und noch ein Paar Substanzen ausgenommen, magnetische [112] Anziehungskräfte zeigen werde. Es ist viel wahrscheinlicher, dass die permanenten Effecte, welche man beobachtet hat, von Eisenspuren oder von irgend einer übersehenen nicht magnetischen Ursache herrühre.

65. Elektrische Ströme erleiden beim Durchgange durch Metalle, die sich in diesem Zustande befinden, weder eine Verzögerung, noch eine Beschleunigung (20, 33). Auch war keine Einwirkung der Art auf den erregenden Strom selbst zu entdecken; denn als Metallmassen, Drähte, Schraubendrähte u. s. w. auf alle mögliche Weisen seitwärts eines einfachen oder schraubenförmigen Drahts, der einen durch das Galvanometer (20) gemessenen Strom hindurchleitete, angebracht wurden, konnte nicht die geringste permanente Ver-

änderung in der Angabe dieses Instrumentes wahrgenommen werden. Metalle leiten also in dem vorausgesetzten besondern Zustand die Elektricität nach allen Richtungen mit ihrer gewöhnlichen Leichtigkeit, oder mit andern Worten, verändern dadurch ihre Leitungsfähigkeit nicht wahrnehmbar.

66. Alle Metalle nehmen diesen besondern Zustand an. Dies ist in den vorhergehenden Versuchen für das Kupfer und Eisen (9) bewiesen, und wird es im vierten Abschnitt (132) durch leicht zu wiederholende Versuche für das Gold, Silber, Zinn, Blei, Zink, Antimon, Wismuth, Quecksilber u. s. w. In Bezug auf das Eisen zeigen die Versuche die vollkommene und merkwürdige Unabhängigkeit zwischen den gewöhnlichen magnetischen und diesen Inductions-Erscheinungen.

67. Dieser Zustand ist gänzlich die Wirkung der Induction, denn er hört auf, so wie die erregende Kraft entfernt wird. Der Zustand ist derselbe, er mag durch den Vorbeigang *Volta*'scher Ströme (26), oder durch Bildung eines Magnets (34, 36), oder durch blosse Annäherung eines Magnets (39, 50) hervorgebracht worden sein; und er liefert einen starken Beweis mehr zu Gunsten der Ansichten des Hrn. *Ampère* über die Identität [113] der in diesen verschiedenen Operationen wirksamen Agentien. Wahrscheinlich tritt er auch momentan während des Uebersprungs eines elektrischen Funkens ein (24), und vielleicht lassen sich späterhin schlechte Leiter durch schwache elektrische Ströme oder andere Mittel (74, 76) in denselben versetzen.

68. Der Zustand scheint instantan einzutreten (12), indem schwerlich eine merkliche Zeit zu seiner Bildung erforderlich ist. Der am Galvanometer (59) sichtbare Zeitunterschied zwischen dem Zustandekommen der volta-elektrischen und der magneto-elektrischen Induction lässt sich wahrscheinlich folgendermaassen erklären. Wenn ein *Volta*'scher Strom durch einen von zwei parallelen Drähten, z. B. durch einen der Schraubendrähte (34), geleitet wird, so erregt er in dem andern Draht einen Strom, der in seiner Dauer eben so kurz ist, als die Durchgangszeit des ersteren, welche, wie die Erfahrung lehrt, unwahrnehmbar klein ist. Die Action ist noch augenblicklicher, weil vor dem Schliessen der Batterie eine Anhäufung der Kraft an ihren Polen stattfindet, und deshalb der in den Verbindungsdraht schiessende Strom im ersten Moment stärker ist, als hernach bei unterhaltener Schliessung.

Der in Induction gesetzte Draht wird in demselben Moment in einem entsprechenden Grade elektrotonisch, sinkt aber bald auf den Zustand herab, in welchem ihn der continuirliche Strom erhalten kann; allein beim Sinken verursacht er einen entgegengesetzten elektrischen Strom, als zuerst erzeugt wurde. Die Folge ist, dass die erste secundäre Elektricitätswelle mehr der der Entladung einer Leidener Flasche ähnelt, als es sonst der Fall sein würde.

69. Wenn aber der Eisencylinder in denselben Schraubendraht (34) gesteckt wird, bevor die Verbindung mit der Batterie gemacht ist, so lässt sich annehmen, dass der Strom der letzteren unzählige secundäre Ströme ähnlicher Art, wie er selbst, in dem Eisen erregt, und dieses dadurch [114] zu einem Magnet macht. Die Erfahrung lehrt, dass dazu Zeit erforderlich ist; denn ein so gebildeter Magnet, selbst von weichem Eisen, erreicht seine volle Stärke nicht in einem Augenblick, vielleicht weil die Ströme successive gebildet oder geordnet werden. Da aber der Magnet sowohl wie der *Volta*sche Strom erregend wirkt, so erreicht die vereinte Wirkung beider, welche an dem Galvanometer gemessen wird, erst nach einiger Zeit ihr Maximum.

70. In allen Fällen, wo gerade oder schraubenförmige Drähte dem Magnet genähert, oder von ihm entfernt werden (50, 55), besteht der directe oder umgekehrte Strom inducirter Elektricität so lange, als das Nähern und Entfernen dauert. Denn während der Zeit steigert oder schwächt sich der elektrotonische Zustand, und die Veränderung wird von einer entsprechenden Elektricitätserregung begleitet; doch ist dies kein Einwurf gegen die Meinung, dass der elektrotonische Zustand augenblicklich eintrete.

71. Dieser besondere Zustand scheint ein Zustand von Spannung zu sein, und kann als gleichwerthig einem elektrischen Strom betrachtet werden, oder wenigstens dem, welcher bei seinem Beginnen oder seinem Ende auftritt. Indess ist der Strom, welcher im ersten oder letzten Falle erregt wird, nicht anzusehen als ein Maass des Spannungsgrades, zu dem sich der elektro-tonische Zustand gesteigert hat; denn da das Metall seine Leitungsfähigkeit ungeschwächt behält (65), und da die Elektricität nur momentan erregt wird (der besondere Zustand augenblicklich eintritt und aufhört (68)), so kann die Elektricität, welche durch lange Drähte fortgeleitet wird, nur ein sehr kleiner Theil von der wirklichen Menge sein, die

im Moment der Annahme dieses Zustandes erregt wird. Isolirte Schraubendrähte und Metallstücke nahmen den Zustand augenblicklich an, und es war keine Spur von Elektricität in ihnen zu entdecken, wie rasch auch der Contact [115] mit dem Elektrometer bewirkt wurde, nachdem sie, entweder durch den Strom einer Batterie, oder durch einen Magnet unter Induction gesetzt worden waren. Ein einziger Wassertropfen, oder ein Stückchen feuchten Papieres (23, 56) war hinlänglich, den Strom durch die Leiter zu hemmen; die erregte Elektricität kehrte durch das Metall selbst, folglich auf eine nicht zu beobachtende Weise, in den Gleichgewichtszustand zurück.

72. Die Spannung in diesem Zustande ist daher vielleicht verhältnissmässig sehr gross. Indess sie mag gross oder klein sein, so ist doch kaum denkbar, dass sie ohne Rückwirkung auf den erregenden Strom sei, und nicht eine Art von Gleichgewicht hervorrufe. Es stand zu vermuthen, dass daraus eine Verzögerung des erregenden Stromes hervorgehen werde, allein ich habe diese Vermuthung nicht bestätigt finden, noch auf sonst einem Wege etwaige Wirkungen einer solchen Reaction wahrnehmen können.

73. Alle Resultate sprechen für die Idee, dass der elektrotonische Zustand den Theilchen und nicht der Masse des unter Induction befindlichen Drahts oder Körpers angehöre, und in dieser Beziehung ist er verschieden von der durch die Spannungs-Elektricität bewirkten Induction. Ist dem so, so mag der Zustand in Flüssigkeiten, und selbst in Nichtleitern vorhanden sein, wenn gleich kein elektrischer Strom sichtbar ist, und das Auftreten des Stroms würde mehr ein Zufall sein, abhängig von dem Leitungsvermögen und der momentanen Propulsivkraft, welche die Theilchen während ihrer Anordnung ausüben. Selbst bei Gleichheit des Leitungsvermögens mögen die elektrischen Ströme, bisher die alleinigen Anzeiger dieses Zustandes, ungleich sein, wenn Anzahl, Grösse, elektrischer Zustand u. s. w. der Theilchen verschieden sind. Nur nach Ausmittelung der Gesetze dieses neuen Zustandes sind wir im Stande zu sagen, [116] worin die wahre Beschaffenheit einer Substanz bestehe, und welche elektrische Resultate mit ihr zu erhalten sind.

74. Der elektrische Strom, welcher einen benachbarten Draht in den elektrotonischen Zustand versetzt, erregt diesen auch wahrscheinlich in seinem eigenen Draht. Denn ein

Draht, der durch den in einem seitlichen Draht dahinfliessenden elektrischen Strom elektrotonisch gemacht ist, hat dadurch keineswegs die Fähigkeit für die Hindurchleitung eines elektrischen Stromes verloren (62). Wenn also ein Strom, statt durch den zweiten, durch den ersteren geleitet wird, so ist wahrscheinlich seine erregende Kraft auf den zweiten nicht schwächer, sondern im Gegentheil, wegen des geringeren Abstandes zwischen dem Agens und der seiner Einwirkung ausgesetzten Materie, stärker. Die Enden eines Kupferbolzens wurden mit einem Galvanometer verbunden, und dann die Pole einer Batterie von 100 Plattenpaaren ebenfalls mit dem Bolzen vereint, so dass der Strom durch letztern gehen musste. Darauf wurde der *Volta*'sche Bogen plötzlich geöffnet, und beobachtet, ob das Galvanometer irgend eine Anzeige von einem durch den Bolzen, in Folge der Entladung seines elektrotonischen Zustandes, zurückkehrenden Strome darbiete. Allein es war nichts der Art zu beobachten, und in der That stand dies auch aus zwei Gründen nicht einmal zu erwarten. Denn erstlich, da das Aufhören der Induction und die Entladung des elektrotonischen Zustandes gleichzeitig und nicht successive geschehen, so wird der Rückstrom eben nur hinreichend sein, die letzte Portion des erregenden Stroms zu neutralisiren, und deshalb keine Richtungsänderung zeigen; nimmt man aber an, dass zwischen den beiden Vorgängen eine gewisse Zeit verfliesse, und dass der letzte Strom wirklich von dem ersten verschieden sei, so würde er doch vermöge seiner kurzen Dauer (12, 26) nicht erkennbar sein.

75. Die Betrachtung, dass der Draht durch seinen eigenen Strom elektrotonisch gemacht werde, hat, wie [117] mir scheint, keine grössere Schwierigkeit als die, dass es durch einen äusseren Strom geschieht; besonders wenn man erwägt, dass der elektrotonische Zustand und die elektrischen Ströme einander nicht sichtbar stören (62, 71). Das gleichzeitige Dasein des Leitungvermögens und elektrotonischen Zustandes findet seine Analogie in dem Verhalten der elektrischen Ströme beim Durchgange durch Magnetstäbe, wobei man auch findet, dass sowohl die durchgeleiteten Ströme als die Ströme des Magnetes alle ihre ursprünglichen Eigenschaften behalten, und ihre gegenseitigen Wirkungen ausüben.

76. Das in Bezug auf die Metalle Gesagte lässt sich auch auf alle Flüssigkeiten und alle übrigen Leiter ausdehnen, und führt zu dem Schluss, dass auch sie bei Hindurchleitung

elektrischer Ströme in den elektrotonischen Zustand gerathen. Sollte sich dies bestätigen, so würde es auch, wie kaum zu bezweifeln steht, von Einfluss sein auf die Zersetzungen in der *Volta*'schen Kette, und die Ueberführungen der Elemente zu den Polen. In dem elektrotonischen Zustand scheinen die homogenen Theilchen der Materie eine regelmässige, aber gezwungene Stellung in der Richtung des elektrischen Stromes angenommen zu haben, welche, wenn man die Materie sich selbst überlässt, und sie unzersetzbar ist, einen Rückstrom erzeugt; in einer zerlegbaren Substanz ist dieser gezwungene Zustand vielleicht hinreichende Ursache, dass ein elementares Theilchen seine bisherige Verbindung mit einem andern Theilchen verlässt, und eine neue eingeht mit einem dritten ähnlichen Theilchen, das sich zu ihm in einem natürlicheren Zustand befindet, während zu gleicher Zeit sein gezwungener elektrischer Zustand aufgehoben wird, wie wenn es wirklich von der Induction befreit worden wäre. Da aber der ursprüngliche *Volta*'sche Strom fortdauert, so wird der elektrotonische Zustand, und in Folge dessen die gezwungene Anordnung der verbundenen Theilchen, augenblicklich erneut, um sogleich auch [118] wieder durch die Ueberführung der elementaren Theilchen entgegengesetzter Art in umgekehrten, aber dem Strome parallelen Richtungen entladen zu werden. Auch die in Bezug auf Hervorbringung chemischer Zersetzungen von *Wollaston**) nachgewiesene Verschiedenheit der gewöhnlichen und der *Volta*'schen Elektricität scheint durch die Umstände, welche aus diesen beiden Quellen (25) mit der Induction der Elektricität verknüpft sind, erklärlich zu sein.

77. *Marianini* hat an Metallscheiben, durch welche, während sie in feuchte Leiter eingetaucht waren, ein elektrischer Strom geleitet wurde, eine besondere Eigenschaft entdeckt, nämlich die Fähigkeit, alsdann einen umgekehrten Strom erregen zu können. *Marianini* hat davon eine gute Anwendung auf die Erklärung der Erscheinungen der *Ritter*'schen Säulen gemacht**). *A. de la Rive* hat eine besondere Eigenschaft beschrieben, welche metallische Leiter erlangen, wenn sie, in eine Flüssigkeit eingetaucht, einige Zeit hindurch als Pole die *Volta*'sche Batterie schliessen, in Folge welcher sie nach der

*) Philosoph Transact., 1801, p. 247. (Pogg. Ann. B. 11, S. 104.)
**) Annal. de chim. et de phys. T. 38, p. 5.

Trennung von der Batterie in derselben Flüssigkeit einen umgekehrten Strom hervorbringen*). *A. van Beck* hat Fälle beobachtet, in welchen das elektrische Verhältniss eines Metalls, das im Contact mit einem andern war, sich nach der Trennung erhielt, begleitet von den correspondirenden chemischen Wirkungen**). Diese Zustände und Resultate scheinen von dem elektrotonischen Zustande und seinen Phänomenen verschieden zu sein; allein die wahren Beziehungen der ersteren zu den letzteren können erst nach erweiterter Kenntniss aller dieser Erscheinungen festgesetzt werden.

[119] 78. Zu Anfang dieses Aufsatzes (2) habe ich Gelegenheit gehabt, eines Versuchs von *Ampère*, als eines von der Induction elektrischer Ströme abhängigen und vor der gegenwärtigen Untersuchung angestellten, zu erwähnen, und später (62 u. s. w.) bin ich zu Schlüssen gelangt, welche die Richtigkeit dieses Versuchs in Zweifel zu setzen scheinen. Ich bin es daher Hrn. *Ampère* schuldig, mich deutlicher zu erklären. Wenn eine Kupferscheibe, sagt Hr. *Ampère*, an einen Seidenfaden aufgehängt, mit einem spiral- oder schraubenförmigen Draht umgeben, und durch diesen eine kräftige *Volta*'sche Batterie entladen wird, so dreht sich die Kupferscheibe, wenn man ihr gleichzeitig einen Magnetstab nähert, sogleich und nimmt eine Gleichgewichtslage an, in die sich genau die Spirale bei freier Beweglichkeit gedreht haben würde. Ich bin nicht im Stande gewesen, diese Wirkung, noch irgend eine andere Bewegung zu erhalten; doch kann das Misslingen im letzteren Fall davon herrühren, dass der Strom wegen seiner momentanen Existenz nicht Zeit genug hatte, das Trägheitsmoment der Scheibe zu überwinden (11, 12). Vielleicht ist Hrn. *Ampère* die Bewegung gelungen, weil sein elektro-magnetischer Apparat empfindlicher und kräftiger war, oder er hat auch nur die von dem Aufhören der Action herrührende Bewegung erhalten. Allein alle meine Versuche suchen den Sinn des von Hrn. *Ampère* aufgestellten Satzes: »dass ein elektrischer Strom die Elektricität in neben ihm befindlichen Leitern in gleicher Richtung mit den seinigen in Bewegung zu setzen trachte«, umzukehren, denn sie zeigen, dass der erregte Strom eine entgegengesetzte Richtung besitzt (26, 53), so wie, dass die Wirkung momentan [120]

*) Annal. de chim. et de phys. T. 28, p. 190.
**) Ebendaselbst T. 38, p. 49 (Pogg. Ann. B. 12, S. 274.)

ist, dass sie auch durch Magnetstäbe hervorgebracht wird, und dass gewisse andere ungewöhnliche Erscheinungen damit verknüpft sind.

79. Die momentane Existenz der eben beschriebenen Inductionserscheinungen beweist überreichlich die Unrichtigkeit der früher angestellten Versuche, Elektricität oder chemische Zersetzungen mittelst Magnetstäbe zu erhalten*).

80. Sie liefert auch, wie es scheint, eine vollständige Erklärung der von Hrn. *Arago* zwischen Metallen und Magnetstäben im Zustande der Bewegung beobachteten merkwürdigen Erscheinungen, so wie die meisten der von den Hrn. *T. Herschel*, *Babbage* und *Harris*, bei Wiederholung dieser Versuche, erhaltenen Resultate, namentlich des anfangs ganz unerklärlich scheinenden Umstandes, dass bei Ruhe die Metalle und Magnete nicht auf einander einwirken. Diese Resultate, welche zugleich das leichteste Mittel zur Erlangung von Elektricität durch Magnetismus liefern, werde ich nun beschreiben.

IV. Erklärung der von Hrn. *Arago* beobachteten magnetischen Erscheinungen.

81. Versetzt man eine Kupferscheibe dicht unter einem parallel mit ihr an einem Faden aufgehängten Magnetstab in

*) Im Jannar erschien in Nr. 36 des »Lycée« ein langer etwas voreiliger (premature) Artikel, in welchem zu zeigen versucht wird, dass französische Forscher meinen Resultaten zuvorgekommen seien. Indessen hält der Verfasser die irrigen Angaben von *Fresnel* und *Arago* für richtig und bildet sich dann ein, meine richtigen Resultate seien identisch mit jenen irrigen. Ich erwähne dieses, um *Fresnel* die gebührende Achtung zu bezeugen in weit höherem Maasse, als solches durch eine schwache Vorahnung gegenwärtiger Resultate verdient wäre. Dieser bedeutende Forscher stellte gleichzeitig mit mir und fünfzig Anderen Versuche an, die keine Resultate geben konnten, wie vorliegende Untersuchung zeigt. Er war enttäuscht für den Moment und veröffentlichte seinen geglaubten (imaginary) Erfolg; aber bei sorgfältigerer Wiederholung seiner Versuche konnte er keine Belege für denselben finden; und in dem hohen, rein philosophischen Streben, sowohl den Irrthum zu beseitigen als die Wahrheit aufzudecken, widerrief er seine erste Darlegung. Das Verfahren von *Berzelius* in Hinsicht auf das erste »Thorina« ist ein anderer Fall von solchem Feingefühl; da ähnliche Gelegenheiten nicht selten sind, so würde es der Würde der Wissenschaft entsprechen, wenn solchen Beispielen öfter nachgeahmt würde (10. Febr. 1832).[6])

Umdrehung, so sucht derselbe der Bewegung der Scheibe zu folgen, oder, wenn der Magnet gedreht wird, strebt die Scheibe ihm zu folgen. Der Effect ist so mächtig, dass Magnete oder Platten von mehreren Pfunden mit herumgeführt werden. Bleiben Magnet und Scheibe in Ruhe zu einander, so ist nicht die geringste Anziehung, noch Abstossung, noch sonst eine andere Wirkung zwischen ihnen zu beobachten (62). Dies ist die von Hrn. *Arago* entdeckte Erscheinung, welche, seiner Angabe nach, nicht nur bei Metallen, sondern auch bei [121] andern starren Körpern, bei Flüssigkeiten und Gasen, d. h. bei allen Substanzen stattfindet (130).

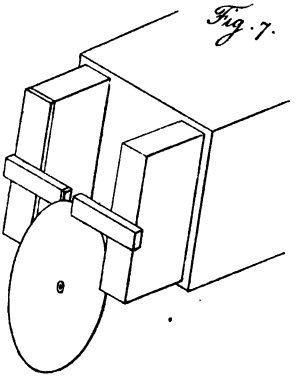
82. Herr *Babbage* und Herr *John Herschel*, welche gemeinschaftlich diese Versuche wiederholten*), konnten diese Erscheinungen nur bei Metallen und bei einer Kohle von besonderer Beschaffenheit (aus einer Gas-Retorte), d. h. nur bei sehr guten Elektricitätsleitern wahrnehmen. Sie erklären die Erscheinungen durch eine Induction des Magnetismus in der Platte durch den Magnetstab, wonach dessen Pole in dem ihnen zunächst liegenden Theil der Platte die entgegengesetzte, und weiter herum die gleiche Polarität hervorrufen (120). Der wesentliche Umstand zur Entstehung der Rotation des aufgehängten Magnetstabes ist der, dass die in Umlauf versetzte Substanz ihren Magnetismus nicht augenblicklich, sondern nach einer gewissen Zeit erlange und verliere (124). Diese Theorie, welche die Erscheinungen von einer anziehenden Kraft herleitet, ist nicht von Hrn. *Arago* angenommen, auch nicht von Hrn. *Ampère*, der die Abwesenheit aller Anziehung zwischen dem Magnet und dem Metall im Zustande der Ruhe als einen Beweis gegen dieselbe aufführt (62, 126), und, aus Versuchen mit einer langen Neigungsnadel, die Wirkung immer für eine abstossende erklärt (125).

83. Nachdem ich durch die vorhin beschriebenen Mittel Elektricität durch Magnetstäbe erhalten hatte (36, 46), hoffte ich den Versuch des Hrn. *Arago* zu einer neuen Elektricitätsquelle zu machen, so wie im Stande zu sein, mittelst erdmagneto-elektrischer Induction eine neue Elektrisirmaschine zu construiren. Demgemäss machte ich, unterstützt von Hrn. *Christie*, in seinem Hause, viele Versuche mit dem Magnet der K. Gesellschaft. Da viele derselben im Laufe der Untersuchung durch besser angeordnete überflüssig gemacht wurden,

*) Philos. Transact. f. 1825, p. 467.

so werde ich mir die Freiheit nehmen, sie in der Reihefolge aufzuführen, in [122] welcher sie, wie mir scheint, die richtigste Ansicht von der Natur der Phänomene gewähren.

84. Der erwähnte Magnet ist bereits in (44) beschrieben. Um die Pole zu concentriren und einander näher zu bringen, wurden zwei Eisen- oder Stahlstäbe, jeder etwa 6 bis 7 Zoll lang, 1 Zoll breit und $^1/_2$ Zoll dick, in der Quere auf die Pole gelegt, so dass sie, durch Schnüre am Abgleiten gehindert, einander beliebig genähert werden konnten (Fig. 7). Zuweilen wurden auch zwei Stäbe von weichem Eisen angewandt, die so gebogen waren, dass, wenn sie auf die Pole gestellt wurden, der eine auf diesen, der andere auf jenen, ihre kleineren Pole sich vertical über einander befanden.



85. Eine Kupferscheibe, 12 Zoll im Durchmesser und etwa $^1/_5$ Zoll dick, wurde auf einer Messingaxe befestigt und mittelst dieser in eine Gabel eingesetzt, worin sie entweder horizontal oder vertical rotiren konnte, während sie zugleich mit ihrem Rand mehr oder weniger tief zwischen die Pole des Magnets hineinragte (Fig. 7). Der Rand der Scheibe war wohl amalgamirt, um einen guten, aber beweglichen Berührungspunkt zu erhalten, und ein Theil der Axe war ringsum in ähnlicher Weise vorgerichtet.

86. Mit dem Rande dieser (85.) oder anderer Scheiben, die weiterhin beschrieben werden sollen (101.), wurden bleierne oder kupferne Conductoren oder Collectoren von 4 Zoll Länge, $^1/_3$ Zoll Breite und $^1/_5$ Zoll Dicke, in Berührung gesetzt. Das eine Ende derselben war, zur besseren Anschliessung an den etwas convexen Rand der Scheiben, ein wenig ausgehöhlt und darauf amalgamirt worden; die andern Enden wurden durch umgewickelte Kupferdrähte von $^1/_{16}$ Zoll Dicke mit dem Galvanometer verbunden.

87. Das Galvanometer war nur von roher Arbeit, doch aber hinreichend empfindlich, und der Draht darin von Kupfer, mit Seide besponnen, und 16 bis 18 Mal umgeschlungen.

Zwei magnetisirte Nähnadeln wurden, [123] einen halben Zoll von einander entfernt, in paralleler, aber umgekehrter Lage in einen trocknen Strohhalm gesteckt, und mittelst desselben an ein Fädchen ungesponnener Seide so aufgehängt, dass die untere Nadel zwischen den Windungen, und die obere über denselben schwebte. Die letztere Nadel stellte, weil sie etwas stärker als die andere magnetisirt war, das ganze System in die Richtung des magnetischen Meridians. Fig. 8 zeigt für diesen Fall die Richtung der Drähte und Nadeln. Die Enden der Drähte sind, um später bequem von ihnen reden zu können, mit *A* und *B* bezeichnet. Die Buchstaben *S* und *N* bezeichnen das Nord- und Südende der Nadel, für den Fall, dass bloss der Erdmagnetismus auf sie wirkt. Das *N*-Ende ist daher der gezeichnete Pol (44). Das ganze Instrument war mit einer Glocke bedeckt, und, was Lage und Entfernung vom grossen Magnet betrifft, aufgestellt wie vorhin (45).

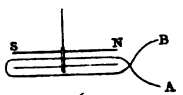


Fig. 8.

88. Nachdem alle diese Vorrichtungen fertig waren, wurde die Scheibe so aufgestellt, wie es Fig. 7 zeigt, nämlich so, dass die kleinen Pole, die etwa einen halben Zoll aus einander standen, mit ihrer halben Breite über den Rand der Scheibe hervorragten. Der eine Galvanometerdraht wurde zwei bis drei Mal lose um die Messingaxe der Scheibe geschlagen, und der andere an einem Conductor (86) befestigt, welcher nun mit der Hand auf den amalgamirten Rand der Scheibe gesetzt wurde, und zwar dicht zwischen den Magnetpolen. Bei dieser Anordnung war noch alles ruhig, die Galvanometernadel zeigte keine Ablenkung; allein in dem Augenblick, wo die Scheibe in Drehung versetzt ward, wich die Nadel auch ab, bei schnellerer Drehung um mehr als $90^0.7$)

89. Bei dieser Vorrichtung hielt es schwer, eine recht gleichförmig gute Berührung zwischen dem Conductor und dem Rand der rotirenden Scheibe zu erhalten, und eben so schwierig war es, bei den ersten Versuchen eine regelmässige Rotation zu erlangen. Beide Uebelstände [124] hielten die Nadel in beständigen Zitterungen, allein dennoch liess sich ohne Schwierigkeit beobachten, nach welcher Seite hin sie abwich, oder, allgemeiner gesprochen, um welche Linie sie vibrirte. Späterhin bei sorgfältigerer Anstellung der Versuche, erhielt ich eine bleibende Ablenkung von fast 45^0.

90. So war es demnach erwiesen, dass durch gewöhnliche Magnete ein anhaltender elektrischer Strom hervorgebracht werden kann (57).

91. Wurde, alles Uebrige gleich gelassen, die Scheibe in umgekehrter Richtung gedreht, so wich auch die Nadel, mit gleicher Kraft wie vorhin, nach der entgegengesetzten Seite ab, zum Beweise, dass der entwickelte elektrische Strom jetzt in umgekehrter Richtung wie zuvor ging.

92. Auch wenn der Conductor den Rand der Scheibe etwas mehr links oder rechts von der anfänglichen Stelle berührte, hatte der elektrische Strom noch gleiche Richtung wie zuvor (88, 91). Man konnte sich so, nach beiden Seiten hin, um 50^0 bis 60^0 von den Magnetpolen entfernen. Der von Conductoren aufgenommene und dem Galvanometer zugeführte Strom hatte zu beiden Seiten des Orts der grössten Intensität gleiche Richtung, und wurde nur von da ab schwächer. Er schien für rechts und links in gleichen Abständen von den Magnetpolen liegende Berührungspunkte gleich stark zu sein, und wurde also in dieser Beziehung nicht von der Richtung der Rotation afficirt. Bei umgekehrter Rotation der Scheibe kehrte sich auch die Richtung des elektrischen Stromes um; allein sonst blieb Alles unverändert.

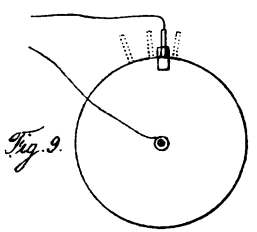


Fig. 9.

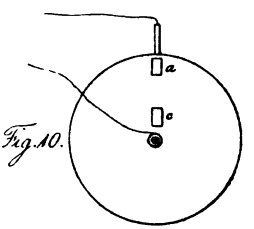


Fig. 10.

93. Als die Scheibe so weit gehoben wurde, dass ihr Rand etwas über die Pole hervorragte wie in Fig. 10, wo *a* einer der Pole ist, traten ganz dieselben Erscheinungen in gleicher Ordnung und gleicher Stärke [125] wie zuvor auf. Auch bei weiterer Hebung der Scheibe, so dass die Pole bis nach *c* hinunter rückten, zeigten sich noch dieselben Erscheinungen und, wie es schien, mit eben der Kraft wie zuvor.

94. Wurde der Conductor fest gegen den Scheibenrand gehalten und mit demselben zwischen den Polen bewegt, wenn auch nur um wenige Grade, so gab die Nadel durch ihre

Ablenkung einen eben solchen elektrischen Strom an, wie er erzeugt worden wäre, wenn sich die Scheibe in gleicher Richtung gedreht, und der Conductor stillgestanden hätte.

95. Wurde die Verbindung des Galvanometers mit der Axe aufgehoben, und seine Drähte an zwei Conductoren befestigt, die beide auf den Rand der Kupferscheibe gesetzt wurden, so entstanden elektrische Ströme, die anscheinend verwickelter waren, aber vollkommen mit den obigen Resultaten übereinstimmten. So brachte die Anlegung der Conductoren wie in Fig. 11 einen entgegengesetzten Strom hervor, als die etwas

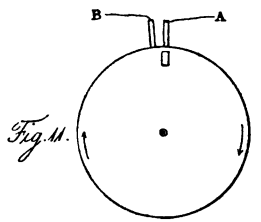


Fig. 11.

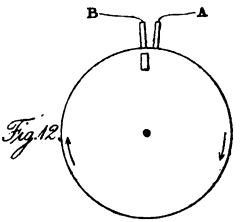


Fig. 12.

mehr rechts liegende in Fig. 12. Die Ursache hiervon ist, dass im ersten Falle das Galvanometer die Differenz zwischen einem starken Strom durch *A* und einem schwachen durch *B* anzeigt, im zweiten Falle aber die Differenz zwischen einem schwachen Strom durch *A* und einem starken durch *B* (92), wodurch dann die Ablenkungen entgegengesetzt wurden.

96. Standen die Conductoren in gleicher Entfernung von den Magnetpolen (Fig. 13), so war, abgerechnet was momentan

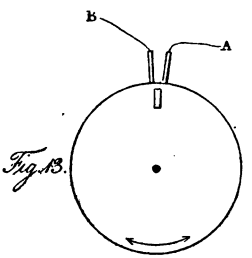


Fig. 13.

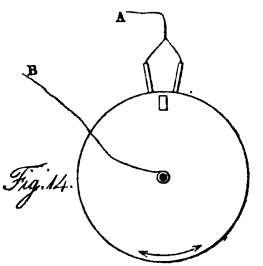


Fig. 14.

durch eine Unregelmässigkeit der Berührung bewirkt wurde, kein Strom am Galvanometer wahrzunehmen, in welcher Rich-

tung auch die Scheibe gedreht werden mochte, weil gleiche Ströme in gleicher Richtung durch Beide zu gehen trachteten. Wenn man aber die beiden Conductoren durch den einen Draht und die Axe mit dem andern Draht verband (Fig. 14), so zeigte das Galvanometer einen Strom an, gemäss der Rotationsrichtung in dieser oder jener Richtung [126] (91); beide Conductoren wirkten hier in Uebereinstimmung, und zwar wie zuvor der einfache Conductor (88).

97. Alle diese Wirkungen traten ein, wenn der Scheibe auch nur ein Pol genähert wurde; sie waren von gleicher Richtung, aber keineswegs so kräftig.

98. Alle Sorgfalt ward angewandt, um diese Resultate unabhängig zu machen von dem Erdmagnetismus und von der magnetischen Wirkung zwischen Magnet und Galvanometernadeln. Ich brachte die Contacte in dem magnetischen Aequator der Scheibe und an andern Punkten an, stellte die Scheibe horizontal und die Pole vertical, und traf auch sonst alle Vorsichtsmaassregeln. Allein dass Störungen dieser Art nicht vorhanden waren, ergab sich leicht dadurch, dass alle Wirkungen verschwanden, wenn man die Scheibe von den Polen, oder die Pole von der Scheibe entfernte, obgleich alle übrigen Umstände ungeändert blieben.

99. Die Beziehung des erzeugten elektrischen Stroms zu dem Magnetpol, zu der Rotationsrichtung der Scheibe u. s. w. lässt sich so ausdrücken: Wenn die Scheibe horizontal und schraubenrecht rotirt, und der ungezeichnete Pol (44, 84) sich unter ihrem Rande befindet, so ist die Elektricität, welche an dem Rand der Scheibe, zunächst dem Pole, gesammelt werden kann, die positive. Da der Erdpol als ein ungezeichneter Pol gedacht werden kann, so lässt sich diese Beziehung zwischen Rotation, Pol und entwickelter Elektricität leicht dem Gedächtniss einprägen. Oder wenn der Kreis in Fig. 15 die in Richtung der Pfeile rotirende Kupferscheibe vorstellt, und *a* den unter dieselbe gestellten ungezeichneten Pol bezeichnet, so ist es die positive Elektricität, welche in und um *b* gesammelt wird, und die negative, welche in und um den Mittelpunkt *c* gesammelt wird (88). Die Ströme in der Scheibe gehen daher vom Mittelpunkt neben den Magnetpolen vorbei zu dem Umkreis.

[127] 100. Wird der gezeichnete Pol oben angebracht, und sonst Alles unverändert gelassen, so ist die Elektricität in *b* Fig. 15 auch noch positiv. Bringt man dagegen den gezeich-

neten Pol nach unten, oder den ungezeichneten nach oben, so wird die Elektricität umgekehrt. Auch wenn die Rotationsrichtung in irgend einem dieser Fälle umgekehrt wird, geht die Elektricität in die entgegengesetzte über.

101. Es ist nun klar, dass die rotirende Scheibe nur eine andere Form des einfacheren Versuchs ist, wo man ein Metallstück in geradliniger Richtung zwischen durch die Magnetpole führt, und dass in solchen Fällen elektrische Ströme erzeugt werden, welche an dem Orte des Magnetpols oder der Magnetpole die Richtung der Bewegung senkrecht durchkreuzen. Dies geht zur Genüge aus folgendem einfachen Versuche hervor. Ein Kupferstreifen, $^1/_5$ Zoll dick, $1^1/_2$ Zoll breit und 12 Zoll lang, wurde, nachdem er an den Rändern amalgamirt

Fig. 15.

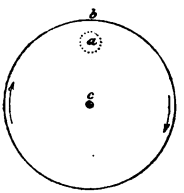
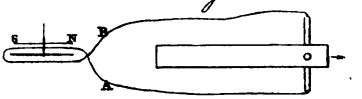


Fig. 16.

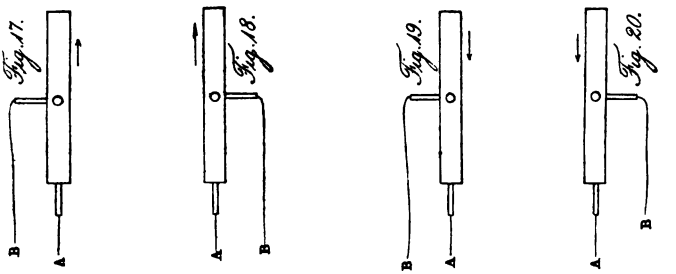


worden war, zwischen die Magnetpole gebracht, während die beiden Conductoren von dem Galvanometer mit seinen Rändern in Berührung standen. Er wurde nun zwischen beiden Polen durchgezogen in der Richtung des Pfeils Fig. 16; augenblicklich wich die Galvanometernadel ab, und zwar ihr nördliches oder gezeichnetes Ende gen Ost, damit anzeigend, dass der Draht *A* negative und der Draht *B* positive Elektricität empfing. Da sich der gezeichnete Pol oberhalb befand, so stimmt dies Resultat vollkommen mit dem bei der rotirenden Scheibe erhaltenen überein (99).

102. Bei umgekehrter Bewegung des Streifens wurde die Galvanometernadel nach der andern Seite abgelenkt, zum Beweise, dass der Strom jetzt umgekehrt war.

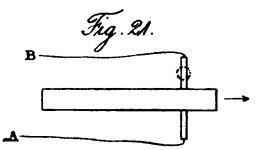
103. Um die Beschaffenheit des bei Bewegung in verschiedenen Theilen des Streifens befindlichen elektrischen Stromes kennen zu lernen, wurde bloss ein Collector (86) auf die nahe beim Pol zu untersuchende Stelle gesetzt, und der andere auf das Ende des Streifens, als die neutralste Stelle. Die Resultate sind in Fig. 17—20 angegeben, [128] wobei der gezeichnete Pol als über den Streifen befindlich zu denken ist. In Fig. 17

erhielt *B* positive Elektricität, in Fig. 18 aber, bei Bewegung des Streifens in gleicher Richtung, negative Elektricität. Wurde im letztern Fall die Bewegung umgekehrt, erhielt *B*



positive Elektricität wie in Fig. 20; kehrte man aber bei der Anordnung Fig. 17 die Bewegung um, so erhielt, wie Fig. 19 zeigt, *B* negative Elektricität.

104. Wurden die Streifen seitwärts zwischen den Polen bewegt, wie in Fig. 21, so dass sie ganz aus der Polaraxe kamen, so erzeugten sich zwar dieselben Erscheinungen, aber nicht so stark.



105. Standen die Magnetpole in Berührung, und der Kupferstreifen wurde nahe an der Stelle zwischen den Conductoren gezogen, so war der Effect gering. Wurden die Pole so weit geöffnet, dass ein Kartenblatt zwischengeschoben werden konnte, so war die Wirkung etwas stärker, doch aber noch sehr gering.

106. Wurde ein amalgamirter Kupferdraht von $^1/_8$ Zoll Dicke zwischen den Conductoren und Polen hindurchgezogen (101), so gab er eine sehr beträchtliche Wirkung, die aber doch nicht der der Streifen gleich kam.

107. Wurden die Conductoren beständig gegen diese oder jene Stelle der Kupferstreifen gehalten, und mit demselben zwischendurch die Magnetpole geführt, so traten Erscheinungen auf, die, ähnlich den beschriebenen, mit den Resultaten der rotirenden Scheibe übereinstimmten (94).

108. Wurden die Conductoren gegen die Enden der Streifen gestemmt, und diese dann in der Quere zwischendurch die Magnetpole gezogen, so entstanden dieselben Wirkungen

(Fig. 22). Die den Enden zuliegenden Theile der Streifen wirkten entweder als blosse Conductoren, oder es wird in ihnen, je nach ihrem Abstande und je nach der Stärke des Magnets, ein elektrischer Strom erregt; die Resultate stehen in völligem Einklang mit den bereits erhaltenen. Die Wirkung war eben so stark, [129] wie im Fall, dass die Conductoren gegen die Seiten des Streifens gestemmt wurden (101).

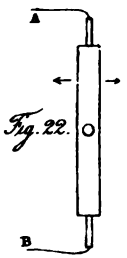


Fig. 22.

109. Schon wenn man bloss den zum vollständigen Bogen geschlossenen Draht zwischen die Pole hindurchführte, wurde die Galvanometernadel abgelenkt, und wenn man ihn, in Uebereinstimmung mit den Vibrationen der Nadel mehrmals hin- und herzog, liessen diese sich bis zu 20^0 bis 30^0 auf beiden Seiten des magnetischen Meridians vergrössern.

110. Als ein Metallstreifen an seinen Enden mit den Galvanometerdrähten verbunden (Fig. 23) und dann seiner Länge nach in dieser oder jener Richtung zwischen den Polen fortgezogen ward, war keine Wirkung auf das Galvanometer sichtbar. Im Moment aber, wo man die Bewegung in transversaler Richtung ausführte, wurde die Nadel abgelenkt.

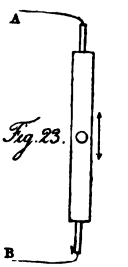


Fig. 23.

111. Auch die Pole von Elektro-Magneten, die aus schrauben- oder spiralförmigen Kupferdrähten, mit oder ohne Eisenkern (34, 54) gebildet waren, gaben dieselben Erscheinungen. Mit Anwendung eines Eisenkerns war die Wirkung viel stärker, als ohne denselben.

112. Wurde eine ebene Spirale parallel mit den Armen des Hufeisenmagnets zwischen seinen Polen hindurchgeführt, so entstand eine sonderbare Wirkung auf das Galvanometer. Die Nadel ging nämlich zuerst rasch nach der einen Seite, stand dann plötzlich still, wie wenn sie gegen einen festen Körper stiess, und kehrte darauf sogleich zurück. Die Spirale mochte von oben nach unten oder von unten nach oben geführt werden, so wich die Nadel doch nach derselben Seite ab, stand dann plötzlich still, und kehrte nun zurück. Wandte man aber die Ebene der Spirale um, so war die Bewegung von entgegengesetzter Richtung, hörte plötzlich auf, und kehrte

sich dann um wie zuvor. Diese Doppelwirkung hängt davon ab, dass die beiden Hälften der Spirale, dies- und [130] jenseits einer durch ihren Mittelpunkt senkrecht gegen die Richtung der Bewegung in entgegengesetztem Sinne wirken. Dass die Nadel nach derselben Seite geht, die Spirale mag in dieser oder jener Richtung neben den Polen vorbeigeführt werden, rührt davon her, dass bei Aenderung der Bewegung auch die Richtung der Windungen in der sich annähernden Hälfte der Spirale geändert wird. So sonderbar auch die Erscheinungen im ersten Augenblick sind, so lassen sie sich doch sogleich auf die Wirkung einfacher Drähte zurückführen (40, 109).

113. Obgleich die Versuche mit der rotirenden Scheibe, den Drähten und Streifen zuerst erfolgreich mit dem der K. Gesellschaft gehörenden magnetischen Magazin angestellt wurden, so wiederholte ich sie doch später alle mit einem Paar Magnetstäben von zwei Fuss Länge, anderthalb Zoll Breite und einem halben Zoll Dicke, nur mittelst eines empfindlicheren Galvanometers als früher (87), mit dem besten Erfolg. Eiserne Elektro-Magnete, wie die der Herren *Moll*, *Henry* etc. (57), wirken sehr kräftig. Sehr wesentlich bei Anstellung dieser Versuche mit verschiedenen Substanzen ist es, dass man thermo-elektrische Wirkungen (erzeugt durch das Anfassen mit den Händen etc.) vermeide, oder wenigstens in Rechnung ziehe. Sie lassen sich leicht durch ihre Beständigkeit und durch ihre Unabhängigkeit von den Magneten unterscheiden.

114. Die Beziehung zwischen Magnetpol, bewegtem Draht oder Metall, und der Richtung des entwickelten Stroms, d. h. das Gesetz der Elektricitätsentwicklung durch magneto-elektrische Induction ist sehr einfach, obgleich schwer zu beschreiben. Wenn *PN*, Fig. 24 einen horizontalen Draht vorstellt, der so um den gezeichneten Pol herumgeführt wird, dass die Richtung seiner Bewegung zusammenfällt mit der krummen Linie, die von unten nach oben geht, oder, wenn er parallel mit sich selbst [131] in einer Tangente der punktirten Curve, aber stets in Richtung der Pfeile bewegt wird, oder, wenn er in andern Richtungen um die Pole herumgeführt wird, doch so, dass er die magne-

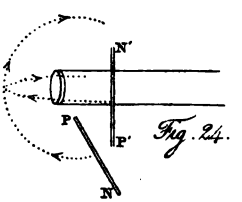


Fig. 24.

tischen Curven*) stets in derselben Richtung oder an derselben Seite schneidet, an der sie von dem Draht geschnitten würden, wenn er sich längs der punktirten Linie bewegte; — dann geht der elektrische Strom in dem Draht von P nach N. Wird er in den umgekehrten Richtungen fortgeführt, so geht der Strom von N nach P. Oder, wenn der Draht in verticaler Stellung $P'N'$ in ähnlichen Richtungen herumgeführt wird, die mit der punktirten horizontalen Curve in so weit zusammenfallen, dass sie die magnetischen Curven an derselben Seite wie diese schneiden, so geht der Strom von P' nach N'. Wird der Draht als eine Tangente an der krummen Fläche des cylindrischen Magnetes betrachtet, und um die Fläche in irgend eine andere Lage geführt, oder wird der Magnet selbst um seine Axe gedreht, so dass irgend ein Theil von ihm dem tangentialen Draht gegenüber zu liegen kommt, — und wird der Draht alsdann in einer der angegebenen Richtungen bewegt, so geht der Strom von P nach N, oder, wenn er in entgegengesetzter Richtung bewegt wird, von N nach P; so dass die Bewegungen des Drahts neben dem Pole auf zwei, einander direct entgegengesetzte zurückgeführt werden können, von denen die eine einen Strom von P nach N, die andere einen Strom von N nach P erzeugt.

115. Dasselbe gilt von dem ungezeichneten Magnetpol; wenn er statt des in der Figur gezeichneten genommen wird, und die Drähte in der Richtung der Pfeile herumgeführt werden, so geht jetzt der elektrische Strom [**132**] von N nach P, und wenn ihre Bewegung in umgekehrter Richtung geschieht, von P nach N.

116. Der elektrische Strom, welcher in einem Metall, das sich in der Nähe eines Magnets bewegt, erregt wird, hängt also, was seine Richtung betrifft, gänzlich von der Rotation des Metalls zu der Resultante der magnetischen Action oder den magnetischen Curven ab. Auf eine populäre Weise lässt es sich folgendermaassen ausdrücken. Es sei AB (Fig. 25) ein cylindrischer Magnetstab, A der gezeichnete und B der ungezeichnete Pol, ferner PN eine silberne Messerklinge, die in der Quere auf dem Magnetstab liegt, mit der Schneide

*) Unter magnetischen Curven verstehe ich die bekannten Linien, in welchen sich Eisenfeillicht über Magnetstäben ordnet, oder diejenigen, welche die Richtungen einer sehr kleinen Magnetnadel als Tangenten haben würden.

aufwärts, und mit der gezeichneten oder gekerbten Seite dem Pole A zugekehrt; in welcher Richtung oder Lage man nun auch diese Klinge, mit der Schneide nach vorne, um den gezeichneten oder ungezeichneten Pol bewegen mag, so wird doch der elektrische Strom von P nach N gehen, vorausgesetzt die durchschnittenen Curven, welche von A ausgegehen, treffen auf die gekerbte Seite der Klinge, und die von B auf die ungekerbte Seite. Wenn dagegen die Klinge, mit ihrem Rücken nach vorne, bewegt wird, geht der Strom für jede mögliche Richtung und Lage von N nach P, sobald nur die durchschnittenen Curven auf dieselben Seiten treffen wie zuvor. Es lässt sich leicht ein kleines Modell verfertigen, worin der Magnet durch einen kleinen Holzcylinder ersetzt ist, die Klinge durch ein Kartenblatt, und eine der magnetischen Curven durch einen Draht, welcher das eine Cylinderende mit dem andern verbindet und durch ein Loch in dem Kartenblatt geht. Dies giebt mit Leichtigkeit das Resultat für eine jede mögliche Richtung.

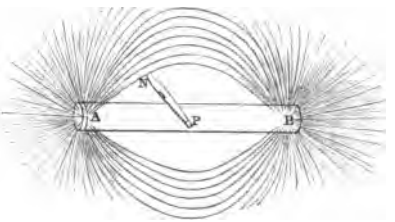


Fig. 25.

117. Wenn ein der Induction ausgesetzter Draht neben dem Pol eines Elektro-Magnets vorbeigeführt wird, z. B. neben dem einen Ende eines schraubenförmigen Kupferdrahts, durch den ein elektrischer Strom hindurchgeht (34), so hat der Strom in dem Draht, bei [133] Annäherung desselben, gleiche Richtung mit dem Strom in den ihm zunächst gelegenen Theilen oder Seiten der Windungen, und beim Entfernen desselben entgegengesetzte Richtung mit dem Strom in diesen Theilen.

118. Alle diese Resultate zeigen, dass das Vermögen, elektrische Ströme zu erregen, ringsum von einer magnetischen Resultante oder Axe ausgeübt wird, gerade so wie ein elektrischer Strom circumferentiell Magnetismus erregt.

119. Die beschriebenen Versuche beweisen insgesammt, dass, wenn ein Stück Metall (und wahrscheinlich einer jeden leitenden Substanz) vor einem einzelnen Pol, oder zwischen

den entgegengesetzten Polen eines Magnets, oder nahe bei den Polen eines Elektro-Magnets, sei er von Eisen oder nicht, bewegt wird, elektrische Ströme in dem Metall senkrecht gegen die Richtung der Bewegung erregt werden, Ströme, welche sich daher in *Arago*'s Versuchen der Richtung der Radien nähern. Wird ein einfacher Draht nahe bei einem Magnetpol gleich der Speiche eines Rades gedreht, so wird in demselben ein der Länge nach laufender elektrischer Strom erregt. Denkt man sich ein Rad aus einer grossen Anzahl solcher Speichen zusammengesetzt, und wie die Kupferscheibe (85) nahe bei dem Pol in Umlauf versetzt, so wird in jeder Speiche ein Strom erregt, wie wenn sie vor dem Pol vorbeigeführt würde. Nimmt man an, die Speichen berühren sich seitwärts, so hat man eine Kupferscheibe, in der die Ströme im Allgemeinen dieselbe Richtung haben, nur abgeändert durch die Spannung (*coaction*), welche etwa zwischen den Theilchen stattfindet, die in metallischer Berührung stehen.

120. Jetzt, da die Existenz dieser Ströme erwiesen ist, lassen sich die von *Arago* entdeckten Erscheinungen ohne jene Annahme erklären, dass in dem Kupfer ein dem genäherten entgegengesetzer Pol, und rings um diesen diffus die gleiche Polarität (82) erregt werde. [**134**] Auch ist nicht wesentlich, dass die Platte ihren Zustand in einer endlichen Zeit erlange und verliere, wie es andererseits nicht nothwendig erscheint, eine abstossende Kraft als Ursache der Rotation (82) anzunehmen.[8])

121. Die Wirkung ist genau von derselben Art, wie die elektro-magnetische Rotation, welche ich das Glück hatte vor einigen Jahren zu entdecken*). Gemäss den damaligen Versuchen, welche seitdem vielfach bestätigt worden sind, wird ein gezeichneter Magnetpol N, der zwischen dem Beobachter und dem von P nach N von positiver Elektricität durchströmten Draht PN, Fig. 26, befindlich ist, in tangentialer Richtung, und zwar gegen die rechte Hand, um den Draht herumgeführt, der Draht dagegen, falls er beweglich wäre, eben so nach der Linken, wie es die Richtung der Pfeile andeutet. Genau dasselbe findet bei der Rotation der Platte unter einem Magnetpol statt; denn ist N, Fig. 27, ein gezeichneter Pol über der Scheibe, und letztere wird in Richtung der Pfeile gedreht, so erregt der Pol sogleich Ströme

*) Quarterly Journal of Sciences, Vol. XII, p. 74, 186, 416, 283.

positiver Elektricität von den centralen Theilen in Richtung der Radien zu den jenseits des Poles liegenden Theilen *a* des Umfangs (99, 119). Sie stehen daher genau in derselben Beziehung zu dem Pol, wie der Strom in dem Drahte *PN*, Fig. 26, und deshalb bewegt sich der Pol gegen die rechte Hand.

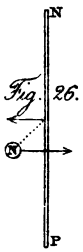


Fig. 26.

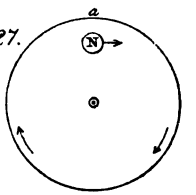


Fig. 27.

122. Wird die Scheibe in entgegengesetzter Richtung gedreht, so kehren sich auch die elektrischen Ströme um (91), und deshalb bewegt sich der Pol gegen die linke Hand. Bei Anwendung der entgegengesetzten Pole bleiben die Wirkungen dieselben, weil elektrische Ströme in umgekehrter Richtung als vorhin erregt werden, und bei gleichzeitiger Umkehrung der Pole und der elektrischen Ströme die sichtbaren Wirkungen ungeändert bleiben. Wenn nur derselbe Pol an derselben Seite der [**135**] Scheibe bleibt, so kann man auch die Magnetaxe in jede beliebige Lage bringen, und doch wird der elektrische Strom immer in derselben Richtung erregt, übereinstimmend mit dem schon aufgestellten Gesetz (114), und so lässt sich jeder Umstand in Bezug auf die Richtung der Bewegung erklären.

123. Diese Ströme nehmen ihren Rückweg in den seitwärts und entfernter von dem Ort des Pols liegenden Theilen der Platte, wo offenbar die magnetische Induction schwächer ist; und wenn durch angelegte Collectoren ein elektrischer Strom zum Galvanometer übergeführt wird, ist die Ablenkung nur eine durch denselben Strom oder einen Theil desselben bewirkte Wiederholung des Rotationseffects auf den Magnet über der Platte.

124. Von dem eben aufgestellten Gesichtspunkt aus habe ich gewagt zu sagen, es sei nicht nöthig, dass die Platte ihren Zustand in einer endlichen Zeit annehme oder verliere (120); denn die vollständige Entwicklung des Stroms mag genau unter dem verticalen Magnetpol oder etwas vor oder hinter diesem Punkte zu Stande kommen, es bleibt doch die relative Bewegung des Pols und der Platte dieselbe, und die resultirende Kraft ist tangential und nicht direct.

125. Allein möglicherweise (obgleich nicht nothwendig für

die Rotation) ist Zeit erforderlich, damit der Strom in der Platte sein Maximum erreiche. In diesem Falle würde die Resultante aller Kräfte dem Magnete vorauseilen, falls die Platte rotirt, oder, wenn der Magnet rotirt, hinter diesem zurückbleiben. Manche Erscheinungen bei blossen elektromagnetischen Polen scheinen dafür zu sprechen. Alsdann kann die tangentiale Kraft in zwei andere zerlegt werden, eine parallel der Rotationsebene und eine senkrecht gegen dieselbe; die erstere würde die Kraft sein, welche die Platte mit dem Magnet oder den Magnet mit der Platte herumführt; [**136**] die letztere wäre eine Repulsivkraft, und wahrscheinlich diejenige, deren Wirkungen Hr. *Arago* entdeckt hat (82).

126. Der ausserordentliche und bisher unerklärlich scheinende Umstand bei dieser Erscheinung, dass alle Wirkungen verschwinden, wenn Magnet und Platte zur Ruhe gebracht werden, erhält nun seine vollständige Erklärung (82); denn die elektrischen Ströme, welche die Bewegung veranlassen, hören dann gänzlich auf.

127. Alle die von den Herren *Babbage* und *Herschel**) beschriebenen Wirkungen bei Unterbrechung der Continuität des Metalls, namentlich die dadurch erfolgende Kraftverminderung, erhalten jetzt ihre natürliche Erklärung, eben so wie die Wiederherstellung der Kraft, wenn die Ausschnitte durch solche metallische Substanz ausgefüllt werden, welche, wenn sie auch Elektricität leiten, doch nur eine sehr schwache Einwirkung von den Magneten erleiden. Auch lassen sich neue Arten von Einschneidungen der Platten erdenken, welche die Wirkung fast gänzlich aufheben. Wenn z. B. von einer Kupferscheibe (81.) ein Ring, so breit als eben ein Fünftel oder Sechstel ihres Durchmessers beträgt, abgeschnitten, und darauf wieder angesetzt wird, jedoch mit einer Papierdicke Lücke (Fig. 29), und man stellt den *Arago*'schen Versuch mit dieser zusammengesetzten Scheibe in der Art an, dass der Magnetpol beständig dem Einschnitt gegenüber bleibt, so ist klar, dass die magnetischen Ströme bedeutend

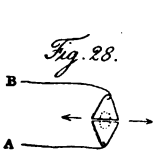


Fig. 28.

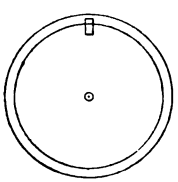


Fig. 29.

* Philosoph. Transact. f. 1825, p. 481.

gestört werden, und die Platte wahrscheinlich viel von ihrer Wirkung verloren haben wird *).

Ein einfaches Resultat dieser Art erhielt ich bei Anwendung zweier Stücke dicken Kupfers von der in Fig. 28 abgebildeten Gestalt. Als ich die beiden benachbarten [137] Kanten amalgamirte und auf einander setzte, und dann das Ganze, in einer mit diesen Kanten parallelen Richtung, zwischen die Magnetpole führte, wurde die Galvanometernadel stark abgelenkt; als aber nur ein einziges Papierblatt zwischengesetzt wurde, konnte, bei Wiederholung des Versuchs, nicht die geringste Wirkung erhalten werden.

128. Ein Durchschnitt dieser Art hätte eine Induction des Magnetismus von der gewöhnlichen Art nicht sehr stören können.

129. Die Wirkung der Rotation oder die Ablenkung der Magnetnadel, welche Hr. *Arago* durch gewöhnliche Magnete erhielt, gelang Hrn. *Ampère* mittelst Elektro-Magnete. Dies steht vollkommen in Uebereinstimmung mit den Resultaten der volta-elektrischen und magneto-elektrischen Induction, die in diesem Aufsatz beschrieben sind. Als ich statt der gewöhnlichen Magnetpole (111) flache Spiralen von Kupferdraht, durch welche ein elektrischer Strom ging, anwandte, zuweilen eine einzige an einer Seite der rotirenden Scheibe, zuweilen zwei an den beiden gegenüberliegenden Seiten, erhielt ich die inducirten Elektricitätsströme aus der Platte selbst, und konnte sie zu dem Galvanometer überführen, und mittelst desselben ihr Dasein nachweisen.

130. Die eben angegebene Erklärung der Rotation in *Arago*'s Versuch, nämlich die Erzeugung elektrischer Ströme, scheint ganz hinreichend für alle Fälle, in denen es sich um Metalle und selbst andere Leiter handelt; allein was solche Körper, wie Glas, Harz und vor Allem Gase betrifft, so scheint es unmöglich, dass elektrische Ströme, die fähig wären, solche Wirkungen hervorzubringen, in ihnen erzeugt werden können. Indess hat Hr. *Arago* gefunden, dass die in Rede stehenden Wirkungen von diesen und von allen untersuchten Körpern (81) hervorgebracht werden können. Zwar haben die Herren *Babbage* und *Herschel* dieselben bei keiner nicht [138] metal-

*) Dieser Versuch ist wirklich mit dem hier angegebenen Erfolg von Hrn. *Christie* angestellt und in den Phil. Transact. f. 1827, p. 82, beschrieben.

lischen Substanz, mit Ausnahme von Kohle, die sehr leitend war, beobachten können (82); allein Hr. *Harris* hat ihre Gegenwart im Holz, Marmor, Quaderstein und unabgekühlten Glase nachgewiesen, obgleich er mit Schwefelsäure und gesättigter Eisenvitriol-Lösung, die doch bessere Leiter sind, keine Wirkungen erhielt.

131. Fernere Untersuchungen werden ohne Zweifel diese Schwierigkeiten heben, und entscheiden, ob die besagte Hemm- oder Ziehkraft immer von elektrischen Strömen begleitet wird*). Die nur während des Daseins der elektrischen Ströme, d. h. nur während der Bewegung (82, 88) vorhandene Wirkung der Metalle, und die Erklärung der von Hrn. *Arago* (82, 125) beobachteten Repulsivwirkung geben die stärksten Gründe, sie auf diese Ursache zu beziehen; doch mögen sich ihr noch andere anschliessen, die hin und wieder allein wirken.

132. Kupfer, Eisen, Zinn, Zink, Blei, Quecksilber, kurz alle von mir untersuchten Metalle erzeugten elektrische Ströme, wenn sie zwischen Magnetpole gebracht wurden. Das Quecksilber war zu diesem Zweck in eine Glasröhre gethan. Die dichte Kohle, welche sich bei Destillation der Steinkohle in den Retorten absetzt, erzeugt ebenfalls einen elektrischen Strom, aber gewöhnliche Holzkohle thut es nicht. Auch konnte ich keine merklichen Wirkungen mit Salzwasser, Schwefelsäure, Salzlösungen etc. erhalten, sie mochten in Schalen rotiren oder eingeschlossen in Röhren zwischen die Magnetpole geführt werden.

133. Niemals war ich im Stande eine Wirkung auf [139] die Zunge durch die Drähte zu erhalten, welche mit den auf die Ränder der rotirenden Scheibe (88) oder der Metallstreifen (101) gesetzten Conductoren verbunden waren; und eben so wenig konnte ich einen feinen Platindraht zum Glühen bringen, oder Funken erhalten, oder einen Frosch in Zuckungen versetzen. Es gelang mir auch nicht irgend eine chemische Wirkung durch diese entwickelte Elektricität hervorzubringen (22, 56).

134. Da der elektrische Strom in der rotirenden Kupferscheibe nur einen sehr kleinen Raum einnimmt, neben den

*) Versuche, die ich seitdem angestellt habe, überzeugen mich, dass diese besondere Wirkung immer von elektrischen Strömen herrührt; und sie liefern eine Probe, durch welche man diese Wirkung von der des gewöhnlichen Magnetismus oder irgend einer anderen, vielleicht mechanischen oder zufälligen Ursache unterscheiden kann.

Polen vorbei geht und rechts und links von ihnen in verhältnissmässig sehr geringen Abständen entladen wird; da er in dicken Metallmassen vorhanden ist, welche mit dem stärksten Leitungsvermögen begabt sind, und folglich seine Erzeugung und Entladung ungemein erleichtern; und da dessen ungeachtet beträchtliche Ströme erhalten werden können, welche sich durch dünne, vierzig, funfzig, sechzig und selbst hundert Fuss lange Drähte leiten lassen, so ist klar, dass die in der Platte selbst vorhandenen Ströme sehr kräftig sein müssen, sobald die Rotation schnell und der Magnet stark ist. Dies wird auch zum Ueberfluss durch die Leichtigkeit bewiesen, mit welcher ein zehn bis zwölf Pfund schwerer Magnet der Bewegung der Platte folgt, und die Schnur, an welcher er hängt, stark aufdreht.

135. Ich habe ein Paar rohe Versuche gemacht, in der Absicht, Magneto-Elektrisirmaschinen zu verfertigen.[9]) Bei einem derselben wurde ein Ring von anderthalb Zoll Breite und zwölf Zoll äusserem Durchmesser, aus dickem Kupferblech geschnitten und so gefasst, dass er zwischen den Polen eines Magnets rotiren konnte (101.). Der innere wie der äussere Rand ward amalgamirt, und auf jeden, dicht bei den Magnetpolen, ein Conductor gesetzt. Der erregte elektrische Strom erschien indess am Galvanometer nicht stärker, etwa ebenso stark als der von der Scheibe (88).

[140] 136. Bei dem anderen Versuche wurden kleine dicke Scheiben von Kupfer oder anderem Metall, einen halben Zoll im Durchmesser, rasch neben den Polen in Umlauf gesetzt, jedoch so, dass die Drehungsaxe ausserhalb der Polaraxe lag. Die entwickelte Elektricität wurde durch Conductoren gesammelt, die wie zuvor, auf die Ränder gesetzt waren (86). Es wurden Ströme erzeugt, aber von weit geringerer Stärke, als die von der Scheibe hervorgebrachten.

137. Der letztere Versuch ist denen analog, welche Hr. *Barlow* unter Einwirkung des Erdmagnetismus mit einer rotirenden eisernen Bombe anstellte*). Die dabei erhaltenen Erscheinungen sind von den Herren *Babbage* und *Herschel* auf dieselbe Ursache bezogen, welche man für das Wirkende in dem *Arago*'schen Versuche hielt**); indess wäre es interessant zu wissen, in wie weit sich die Ablenkung der Nadel

*) Phil. Transact. f. 1825, p. 317.
**) Phil. Transact. f. 1825, p. 485.

durch einen bei diesem Versuch vielleicht entstehenden elektrischen Strom erklären lasse. Das blosse Umkehren eines Kupferdrahts dicht bei den Magnetpolen, sechs bis sieben Mal isochron mit den Vibrationen der Nadel des mit diesem Draht verbundenen Galvanometers wiederholt, war hinreichend, die Nadel durch einen Bogen von 60° bis 70° zu treiben. Die Rotation einer kupfernen Bombe würde vielleicht diesen Punkt entscheiden, und selbst einiges Licht werfen auf die beständigeren, wenn auch nur einigermaassen analogen Erscheinungen, welche Hr. *Christie* erhielt.

138. Die früher in Bezug auf das Eisen gemachte Bemerkung (66) und die Unabhängigkeit zwischen den gewöhnlichen magnetischen Erscheinungen dieses Metalls und den nun beschriebenen der magneto-elektrischen Induction in dem Eisen und anderen Metallen wird durch viele Resultate der Art, wie sie in diesem Abschnitt [141] beschrieben sind, vollends bestätigt. Wenn eine Eisenscheibe ähnlich der vorhin beschriebenen Kupferscheibe (101), zwischen den Magnetpolen in Rotation versetzt wird, so giebt sie, so gut wie die Kupferscheibe, einen elektrischen Strom, aber von entschieden schwächerer Kraft, und bei den Versuchen über Induction elektrischer Ströme (9) ist kein Unterschied zwischen der Wirkungsart des Eisens und der anderen Metalle mehr wahrnehmbar. Die Kraft einer Eisenplatte, einen Magnet mit fortzuziehen oder die magnetische Wirkung aufzufangen, muss daher sorgfältig von dem ähnlichen Vermögen solcher Metalle, wie Silber, Kupfer etc., unterschieden werden, in sofern als bei dem Eisen bei weitem der grössere Theil der Wirkung von dem abhängt, was man gewöhnliche magnetische Wirkung nennt. Es kann keinem Zweifel unterliegen, dass die von den Herren *Babbage* und *Herschel* gegebene Erklärung der *Arago*'schen Erscheinungen zutrifft, sobald die Versuche mit Eisen angestellt werden.

139. Dass Wismuth und Antimon beim Rotiren nur eine sehr geringe Wirkung auf freischwebende Magnetstäbe ausüben, wie es von jenen Physikern zuerst beobachtet und später von Hrn. *Harris* bestätigt worden ist, scheint zuerst mit dem Leitungsvermögen dieser Metalle nicht verträglich. Ob dem so sei oder nicht, müssen künftige Versuche entscheiden (73)*).

*) Seitdem ist es mir gelungen, diese Verschiedenheiten zu erklären, und zu beweisen, dass die Wirkungen, nämlich die

Diese Metalle sind sehr krystallinisch und leiten die Elektricität muthmaasslich nicht mit gleicher Leichtigkeit nach allen Richtungen. Es ist nicht unwahrscheinlich, dass eine Masse, die aus einer Menge heterogen zusammengehäufter Krystalle besteht, eine ähnliche Wirkung giebt, wie sie bei einer [142] wirklichen Zertheilung stattfindet (127); auch mögen die elektrischen Ströme an den Grenzen ähnlicher Krystallgruppen plötzlicher abgelenkt, und auf diese Weise leichter und vollständiger innerhalb der Masse entladen werden. *)

Stärke der durch magneto-elektrische Induction erregten Ströme, im geraden Verhältnisse zu dem Leitungsvermögen der angewandten Körper stehen (211).]

*) In Folge des langen Zeitraumes zwischen dem Vortrage und dem Drucke der vorstehenden Abhandlung sind Nachrichten über die Versuche verbreitet worden und sind durch meinen eigenen Brief an Herrn *Hachette* nach Frankreich und Italien gedrungen. Dieser Brief ist (mit einigen Irrthümern) übersetzt und in der Pariser Akademie 1831 verlesen worden. Ein Abdruck erschien in »Le Temps« und kam alsbald in die Hände des Herrn *Nobili*, welcher sofort mit Herrn *Antinori* zusammen Versuche anstellte und mehrere in meinem Briefe erwähnte Resultate erhielt; einige indessen konnten sie nicht erhalten oder verstehen wegen der Kürze meines Berichtes. Die Resultate der Herren *Nobili* und *Antinori* wurden einer Abhandlung, die vom 31. Januar 1832 datirt ist, einverleibt, gedruckt und veröffentlicht in der »Antologia« vom November 1831 (wie ich aus der freundlichst von Hrn. *Nobili* mir übersandten Abhandlung ersehe). Es ist klar, dass diese Abhandlung nicht an diesem Datum gedruckt werden konnte; und obwohl Herr *Nobili* in derselben meinen Brief als den Gegenstand (Text) seiner Versuche anführt, so hat doch jene Rückdatirung zur Folge, dass Personen, die nur vom Hörensagen *Nobili*'s Versuche kennen, geglaubt haben, dieselben seien älter als die meinigen, während sie doch durch letztere angeregt sind.

Unter diesen Umständen sei mir die Bemerkung gestattet, dass ich seit mehreren Jahren denselben Gegenstand bearbeitete und dass ich auch Resultate veröffentlicht habe (s. Quarterly Journal of Science July 1825, p. 338). Folgende Notiz vom 28. Nov. 1825 finde ich in meinem Tagebuch: »Experiments on induction by connecting wire of voltaic battery: — a battery of four troughs, ten pairs of plates, each arranged side by side — the poles connected by a wire about four feet long, parallel to which was another similar wire separated from it only by two thicknesses of paper, the ends of the latter were attached to a galvanometer: — exhibited no action, &c. &c. &c. — Could not in any way render any induction evident from the connecting wire«. Warum ich damals nichts fand, ist jetzt verständlich (79). April 1832. [10])

2. Experimental-Untersuchungen über Elektricität

von

Michael Faraday.

(Phil. Transact. f. 1832. — Pogg. Ann. Band XXV.)

Zweite Reihe.

V. Magneto-elektrische Induction durch Erdmagnetismus.

140. Nach Entdeckung der im vorigen Aufsatz beschriebenen Hauptthatsachen, und Ausmittlung des Gesetzes über die Richtung bei der magneto-elektrischen Induction (114) war es nicht schwierig einzusehen, dass die Erde gleiche Wirkungen wie ein Magnet hervorbringen würde, vielleicht bis zu dem Grade, dass man sie zur Erbauung einer neuen Elektrisirmaschine benutzen könnte. Das Nachstehende enthält einige Resultate, welche bei Verfolgung dieser Ansicht gewonnen wurden.

141. Der schon (6) beschriebene hohle Schraubendraht wurde durch acht Fuss lange Drähte mit dem Galvanometer verbunden, und der weiche Eisencylinder (34), nachdem er zur Entfernung jeder Spur von Magnetismus bis zum Rothglühen erhitzt und darauf langsam erkaltet worden, in den Schraubendraht gesteckt und so befestigt, dass beide Enden gleichweit herausragten. Der so mit dem Eisenstab verbundene Schraubendraht wurde in die Richtung der Neigungsnadel gestellt und dann umgekehrt, so dass das untere Ende oben, und das Ganze wieder in dieselbe Richtung kam, hierauf abermals [143] umgekehrt; nach zwei- bis dreimaliger Wiederholung dieser Umkehrung, in Uebereinstimmung mit

den Schwingungen der (anfangs ruhigen) Galvanometernadel, beschrieb diese zuletzt einen Bogen von 150° bis 160°.

142. Die Ablenkung der Nadel blieb dieselbe, das obere Ende des Schraubendrahts mochte in dieser oder jener Richtung nach unten gedreht werden, und eben so ward sie nicht geändert, d. h. sie blieb immer der Ablenkung im eben genannten Fall entgegengesetzt, in welcher Richtung man auch das Ende *A* wieder nach oben kehrte.

143. Wurde der Schraubendraht in einer gegebenen Stellung umgekehrt, so war die Wirkung eben so, wie wenn ein Magnetstab, mit seinem gezeichneten Pol nach unten, von oben in den umgekehrten Schraubendraht gesteckt worden wäre. Werden die beiden Enden des Schraubendrahts mit *A* und *B* bezeichnet, und befindet sich das Ende *B* oben, so wird, wenn man einen solchen Magnet von oben einsteckt, die Galvanometernadel z. B. nach Westen abweichen. Dieselbe Ablenkung findet statt, wenn, während das Ende *A* oben und der Eisenstab hineingesteckt ist, das Ganze umgekehrt wird.

144. Wurde der Eisenstab aus dem Schraubendraht gezogen, und letzterer in verschiedenen Richtungen umgekehrt, so zeigte sich nicht die geringste Wirkung an dem vier Fuss entfernten Galvanometer.

145. Diese Erscheinungen sind eine nothwendige Folge der inducirenden Kraft des Erdmagnetismus, wodurch der Eisencylinder zu einem Magnet wird, dessen gezeichneter Pol nach unten liegt. Der Versuch ist jenem ähnlich, bei dem zwei Magnetstäbe zur Magnetisirung desselben Eisencylinders in demselben Schraubendraht angewandt wurden (36); und die Umkehrung der Stellung im gegenwärtigen Versuche ist gleichwerthig der Polumkehrung in jenem Versuch. Das Resultat ist nicht minder ein Beispiel für Erregung von Elektricität durch Erdmagnetismus.

146. Der Schraubendraht wurde nun allein in der Richtung der Neigungsnadel gehalten, und dann ein weicher [**144**] Eisencylinder hineingesteckt; augenblicklich wich die Galvanometernadel ab. Beim Herausziehen des Cylinders kehrte die Nadel zurück, und als beide Operationen mehrmals in Uebereinstimmung mit den Schwingungen wiederholt wurden, wuchsen letztere bis zu 180°. Die Wirkungen waren genau so, wie bei Anwendung eines Magnetstabes mit dem gezeichneten Pol nach unten; und die Richtung der Bewegung u. s. w. stand

in völliger Uebereinstimmung mit den Resultaten, welche in früheren Versuchen mit einem solchen Magnet (39) erhalten wurden. Es wurde darauf ein Magnet in derselben Richtung angewandt; er gab dieselben Ablenkungen, nur stärker. Wurde der Schraubendraht rechtwinklig gegen die Richtung der Neigungsnadel gestellt, so brachte das Hineinstecken oder Herausziehen des weichen Eisenstabes keine Wirkung auf die Nadel hervor. Jede Richtung, die mit der Linie der Neigungsnadel einen scharfen Winkel bildete, gab gleiche Resultate wie die beschriebenen; doch stärkere, je kleiner der Winkel war.

147. Obgleich der cylindrische Magnet beim Einstecken in den Schraubendraht, wie beim Herausziehen, sehr stark auf das Galvanometer wirkte, so vermochte er doch nicht eine bleibende Ablenkung hervorzubringen (39), und daher kehrte, wenn er auch darin gelassen wurde, die Nadel bald in ihre ursprüngliche Lage zurück. Allein, als der Versuch der Umkehrung in Richtung der magnetischen Inclination (141) mit diesem Magnetstab wiederholt wurde, wich die Nadel so stark ab wie zuvor; woraus hervorgeht, dass die inducirende Kraft des Erdmagnetismus auf den magnetisirenden Stahl fast, wenn nicht ganz, so schnell und stark wirkt wie auf das weiche Eisen. Wahrscheinlich werden auf diesem Wege magneto-elektrische Vorrichtungen sehr nützlich zur Nachweisung von Störungen der magnetischen Kräfte in Fällen sein, wo andere Mittel nicht anwendbar sind. Denn es ist nicht die gesammte magnetische Kraft, welche die [**145**] sichtbare Wirkung hervorbringt, sondern nur die Differenz, herrührend von störenden Ursachen.

148. Diese günstigen Resultate liessen mich hoffen, dass die directe magneto-elektrische Induction des Erdmagnetismus sichtbar gemacht werden könne; zuletzt gelang es mir wirklich auf mehreren Wegen. Wurde der eben erwähnte Schraubendraht (141, 6), ohne den Eisen- oder Stahlstab, in die Richtung der Neigungsnadel gestellt und dann umgekehrt, so war eine schwache Wirkung an der Magnetnadel zu beobachten. Nach zehn- oder zwölfmaliger Umkehrung, in solchen Zeitabständen, dass die ablenkenden Kräfte, welche die erregten Ströme ausübten, das Moment der Nadel verstärkten (39), wurde diese bald zu Schwingungen von 80^0 bis 90^0 gebracht. Hier waren also, ohne Hülfe einer eisenhaltigen Substanz, durch die directe Inductionskraft des Erdmagnetismus, auf ein Metall,

das keine der gewöhnlichen magnetischen Erscheinungen zu zeigen vermochte, elektrische Ströme erzeugt worden. Der Versuch gab in jeder Hinsicht dieselben Erscheinungen, welche bei Annäherung des nämlichen Schraubendrahts an einen, oder an beide Pole eines kräftigen Magnetstabes entstehen (50).[11])

149. Geleitet durch das bereits (114) ausgesprochene Gesetz, erwartete ich nun, dass sich alle elektrischen Erscheinungen der rotirenden Scheibe ohne irgend einen andern Magnetismus als den der Erde erzeugen lassen würden. Die oft erwähnte Scheibe (85) wurde deshalb so aufgestellt, dass sie in einer horizontalen Ebene rotiren konnte. Die magnetische Curve der Erde, d. h. die Neigungslinie (114 Anmerkung), schnitt diese Ebene unter einem Winkel von etwa 70^0, welche Lage der Senkrechten nahe genug war, um eine zur Erzeugung elektrischer Ströme hinlänglich kräftige elektro-magnetische Induction zuzulassen.

150. Bei der Rotation dieser Scheibe mussten die Ströme, gemäss dem Gesetze (114, 121), die Richtung [**146**] der Radien in allen Theilen der Scheibe einzuschlagen suchen, entweder vom Mittelpunkt zum Umkreis oder vom Umkreis zum Mittelpunkt, je nachdem die Platte in dieser oder jener Richtung rotirte. Einer der Galvanometerdrähte wurde demnach mit der Axe der Scheibe, und der andere durch einen bleiernen Conductor oder Collector (86) mit dem amalgamirten Rand der Scheibe in Berührung gesetzt. Beim Rotiren der Scheibe fand eine deutliche Wirkung auf die Galvanometernadel statt, bei umgekehrter Rotation ging die Nadel nach entgegengesetzter Seite; und als die Wirkung der Scheibe in Uebereinstimmung mit den Vibrationen der Nadel gesetzt wurde, beschrieb diese einen halben Kreis.

151. Welchen Theil vom Rande der Scheibe der Conductor auch berühren mochte, so war doch der elektrische Strom derselbe, vorausgesetzt die Richtung der Rotation blieb dieselbe.

152. Drehte sich die Scheibe schraubenrecht (*screw-fashion*) oder wie der Zeiger einer Uhr, so ging der elektrische Strom (150) vom Mittelpunkt nach dem Umfang. Bei umgekehrter Richtung (*unscrew*) der Rotation ging er vom Umfang zum Mittelpunkt. Diese Richtungen waren denen gleich, die mit dem neben die rotirende Scheibe gesetzten gezeichneten Pol eines Magnets erhalten wurden (99).

153. Befand sich die Scheibe im magnetischen Meridian oder in irgend einer anderen mit der Neigungslinie zusammenfallenden Ebene, so brachte die Rotation keine Wirkung auf das Galvanometer hervor. Neigte sie nur wenige Grade gegen die Inclinationslinie, so begann Elektricität beim Rotiren zu erscheinen. Stand sie z. B. aufrecht und gegen den Meridian senkrecht, neigte sie also gegen die Inclinationslinie nur um 20^0, so wurde Elektricität beim Rotiren entwickelt. Wurde dieser Winkel vergrössert, so ward auch die Elektricität kräftiger und als derselbe 90^0 betrug, die Scheibe sich also im magnetischen Aequator befand, war die Elektricität für eine gegebene Geschwindigkeit der Scheibe ein Maximum.

[147] 154. Es ist überraschend zu sehen, wie die rotirende Kupferscheibe auf diese Weise zu einer neuen Elektrisirmaschine wird, und sonderbare Resultate ergeben sich, wenn man sie mit der gewöhnlichen Elektrisirmaschine vergleicht. In der letzteren ist die Scheibe eine der schlechtest leitenden Substanzen, die man anwenden kann, in der ersten ist sie der vollkommenste Leiter, bei jener ist Isolation wesentlich, bei dieser schädlich. Im Vergleich der erzeugten Elektricitätsmengen steht die metallene Maschine nicht ganz hinter der gläsernen zurück; denn sie kann einen constanten, die Galvanometernadel ablenkenden Strom erzeugen, was die letztere nicht vermag. Freilich hat die Kraft des so entwickelten Stromes noch nicht so weit verstärkt werden können, dass sie zu einer unserer gewöhnlichen Anwendungen der Elektricität nutzbar wäre; allein es lässt sich mit allem Grund erwarten, dass dies in der Folge geschehen werde, und wahrscheinlich auf mehr als eine Weise. Wie schwach auch der Strom erscheinen mag, ist er doch eben so stark, wo nicht stärker, als irgend ein thermo-elektrischer Strom; denn er geht durch Flüssigkeiten (23), erschüttert das Nervensystem, und bringt, bei Anwendung von Elektro-Magneten, Funken hervor (32).

155. Eine $^1/_5$ Zoll dicke Kupferscheibe von nur $1^1/_2$ Zoll im Durchmesser wurde am Rande amalgamirt, und in ein eben so dickes, viereckiges Stück Blei (Kupfer würde besser gewesen sein) ein kreisrundes Loch geschnitten von solcher Grösse, dass die Scheibe es lose füllte. Ein wenig Quecksilber vervollständigte die metallische Communication zwischen der Scheibe und dem sie umgebenden Ring. Mit letzterem wurde der eine Galvanometerdraht verbunden, und der andere wurde in ein mit Quecksilber gefülltes Näpfchen getaucht,

welches auf dem oberen Ende der Kupferaxe des Scheibchens befestigt war. Als die Scheibe in horizontaler Ebene rotirte, wich die Galvanometernadel ab, wiewohl kein anderer [148] Magnetismus als der terrestrische angewandt wurde, und der Radius der Scheibe nur drei Viertelzoll betrug, der Strom also nur in einem so kleinen Raum entwickelt wurde.

156. Als der Pol eines Magnetstabs unter die rotirende Scheibe gestellt wurde, liess sich eine beständige Ablenkung der Nadel erhalten.

157. Bei Anwendung von $^1/_6$ Zoll dicken Kupferdrähten statt der dünnen, die bisher beständig angewandt wurden (86), waren auch die Wirkungen weit kräftiger. Vielleicht dass noch auffallendere Wirkungen erzeugt worden wären, wenn das Galvanometer, statt der vielen Windungen von dünnem Draht, wenige von einem dicken enthalten hätte.

158. Eine Form dieses Apparats bestand darin, dass mehrere Scheiben über einander angebracht waren. Die Scheiben waren, abwechselnd an den Rändern und an den Mittelpunkten metallisch, mittelst Quecksilber verbunden, und wurden dann abwechselnd in entgegengesetzter Richtung gedreht, d. h. die erste, dritte, fünfte u. s. w. gegen die Rechte, und die zweite, vierte, sechste u. s. w. gegen die Linke. Das Ganze wurde so aufgestellt, dass die Scheiben gegen die Neigungslinie senkrecht waren, oder die magnetischen Curven kräftiger Magnetstäbe meist senkrecht schnitten. In der einen Scheibenreihe geht die Elektricität vom Mittelpunkt zum Umfang, in der andern vom Umfang zum Mittelpunkt. Dadurch geht aus der vereinten Wirkung des Ganzen ein kräftigerer Strom hervor.

159. Ich habe mehr dahin getrachtet, neue Thatsachen und neue Beziehungen der magneto-elektrischen Induction zu entdecken, als die Stärke der schon ermittelten zu erhöhen, in der Ueberzeugung, dass das letztere seine volle Entwicklung späterhin finden werde.

160. In meinem früheren Aufsatz sprach ich von dem wahrscheinlichen Einfluss, den die erdmagneto-elektrische [149] Induction (137) ganz oder zum Theil auf die Hervorbringung der von den Herren *Christie* und *Barlow**) beim Rotiren eiserner Körper beobachteten Erscheinungen ausübte, beson-

*) *Christie*, Phil. Transact. 1025, p. 58, 347 etc. *Barlow*, Phil. Transact. p. 317.

ders auf die, welche Letzterer bei schneller Rotation einer Bombe wahrnahm, und durch eine Aenderung in der gewöhnlichen Anordnung des Magnetismus in der Eisenmasse zu erklären suchte.

161. Erinnert man sich des bereits (114) aufgestellten Gesetzes, so scheint es unmöglich, dass eine Metallkugel unter den natürlichen Verhältnissen anders rotiren könne, als mit Entwicklung elektrischer Ströme, die in einer auf der Umdrehungsebene senkrechten Ebene in derselben umherkreisen, vorausgesetzt, die Umdrehungsaxe falle nicht mit der Neigungslinie zusammen. Wie es scheint, wird der Strom am stärksten sein, wenn die Umdrehungsaxe senkrecht gegen die Neigungsnadel liegt. Denn alsdann schneiden bei der Rotation alle Theile der Kugel, welche unterhalb einer, durch deren Mittelpunkt gehenden und auf der Neigungslinie senkrecht stehenden Ebene liegen, die magnetischen Curven in einer Richtung, während alle über jener Ebene befindlichen Theile sie in entgegengesetzter Richtung schneiden. Es werden daher in diesen rotirenden Theilen Ströme vorhanden sein, welche von einem Rotationspol zum andern gehen. Da aber die oberen Ströme in entgegengesetzter Richtung als die unteren gehen, so werden sie in Vereinigung mit ihnen eine continuirliche Circulation der Elektricität zu Wege bringen.

162. Da die elektrischen Ströme nirgends in der Kugel unterbrochen sind, so erwartete ich starke Wirkungen, und ich bemühte mich daher, sie mit einem einfachen Apparat zu erhalten. Die angewandte Kugel war von Messing (sie gehörte zu einer alten Elektrisirmaschine), hohl, dünn (zu dünn), und 4 Zoll im Durchmesser. Es wurde [**150**] ein Messingdraht eingeschraubt, und die Kugel entweder mit der Hand an dem Drahte umgedreht, oder zuweilen mit ihrem Draht auf ein ausgekerbtes Stück Holz gelegt und mit der Hand in Umdrehung versetzt. Bei Ruhe gab sie keine Anzeigen von Magnetismus.

163. Zur Entdeckung der Ströme wurde eine doppelte Magnetnadel von folgender Construction angewandt. Eine Nähnadel wurde, nachdem der Kopf und die Spitze von ihr abgebrochen worden, magnetisirt, dann in der Mitte durchbrochen, und jeder der beiden dadurch erhaltenen Magnete in einen Strohhalm unter rechtem Winkel eingesteckt, etwa vier Zoll von einander entfernt, zwar in einer und derselben Ebene, aber in umgekehrter Lage unter sich. Der Halm

wurde an einem etwa sechs Zoll langen Faden ungesponnener Seide aufgehängt, und letzterer an einen Stift befestigt, der durch den Pfropf in der Mündung einer cylindrischen Flasche ging. Der so erhaltene Apparat war völlig gegen die Luft gesichert, dem Einfluss des Erdmagnetismus wenig unterworfen, aber doch sehr empfindlich gegen magnetische und elektrische Kräfte, die in die Nähe einer oder der andern dieser Nadeln gebracht wurden.

164. Nachdem die Nadeln in die Ebene des magnetischen Meridians gebracht worden, wurde die Kugel neben der Flasche westlich von den Nadeln aufgestellt, so dass ihr Mittelpunkt mit der oberen Nadel in einer Horizontal-Ebene und ihre Axe in dem magnetischen Meridian, senkrecht gegen die Neigungslinie lag. Beim Rotiren der Kugel fand sogleich eine Wirkung auf die Magnetnadeln statt; bei Umkehrung der Rotation wich die Nadel wiederum ab, aber nach der entgegengesetzten Seite. Rotirte die Kugel von Ost aufwärts nach West, so ging der gezeichnete Pol westwärts oder nach der Kugel hin. Hatte man die Kugel an der Ostseite der Nadeln aufgestellt, und rotirte sie, wie vorhin, von Ost aufwärts nach West, so wich die Nadel noch in derselben [151] Weise ab, d. h. der gezeichnete Pol ging ostwärts oder gegen die Kugel. Geschah die Rotation in entgegengesetzter Richtung, so ging der gezeichnete Pol westwärts.

165. Durch Drehung des Seidenfadens wurden die Nadeln in eine senkrechte Lage gegen die Ebene des magnetischen Meridians gebracht, und die Kugel, bei Parallelismus ihrer Axe mit den Nadeln, abermals in Umlauf versetzt. Die Nadel wurde, wie zuvor, abgelenkt, und aus der Art ihrer Ablenkung ging hervor, dass in diesem wie im vorhergehenden Falle nur die in der Messingkugel vorhandenen elektrischen Ströme auf die Nadel eingewirkt hatten.

166. Betrachtet man den oberen Theil der rotirenden Kugel als einen Draht, der sich von Ost nach West über den ungezeichneten Pol der Erde bewegt, so muss der elektrische Strom in ihr von Nord nach Süd gehen (99, 114, 150). Sieht man eben so den unteren Theil als einen Draht an, der von West nach Ost über demselben Pol hinweggeht, so muss der elektrische Strom von Süd nach Nord gehen, und daher wird die Circulation in einer unter unseren Breiten von Ost aufwärts nach West rotirenden Kugel ihren Weg oben von Nord nach Süd und unten zurück nach Nord neh-

men. Diese Ströme nun sind aber gerade erforderlich, um der Nadel in dem obigen Versuch die angegebenen Richtungen zu ertheilen; mithin stimmt die Theorie, aus der die Versuche hergeleitet wurden, vollkommen mit diesen Versuchen.

167. Auch bei beträchtlicher Neigung der Rotationsaxe wirkte die rotirende Kugel noch auf die Magnetnadel, und erst bei kleinen Winkeln mit der Richtung der magnetischen Inclination verschwanden die Wirkungen selbst auf diesen Apparat (153). Lässt man die Kugel um die der magnetischen Neigung parallel gestellte Axe rotiren, so wird sie offenbar der Kupferscheibe analog. Die Elektricität der einen Art wird man an ihrem Aequator, die der andern Art an ihren Polen sammeln können.

[152] 168. Obgleich ein Strom in solcher Kugel, wie die oben (161) beschriebene, die Nadel in gleicher Richtung ablenken muss, diese mag sich rechts oder links von der Kugel und ihrer Umdrehungsaxe befinden, so muss er dieselbe doch in entgegengesetztem Sinne ablenken, wenn sie über oder unter der Kugel hängt; denn dann wird oder muss der Strom in entgegengesetzter Richtung auf die Nadel wirken. Diese Erwartungen wurden gerechtfertigt, als ich die Kugel unter der, in ihrer Flasche befindlichen Magnetnadel rotiren liess. Rotirte die Kugel von Ost aufwärts nach West, so ging der gezeichnete Pol der Nadel, statt gen Osten, westwärts, und geschah die Rotation von West aufwärts nach Ost, so wich er nach Osten ab.

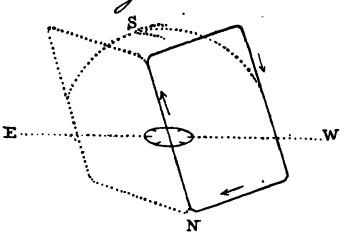
169. Die so mit einer Messingkugel erhaltenen Ablenkungen der Magnetnadel sind genau von gleicher Richtung mit denen, welche Hr. *Barlow* bei einer rotirenden Bombe beobachtet hat; und nach der Art, in welcher das Eisen die Erscheinungen der magneto-elektrischen Induction eben so wie jedes andere Metall und abweichend von seinen besonderen magnetischen Eigenschaften (132) darbot, ist es unmöglich, dass hier nicht elektrische Ströme erregt und in diesen Versuchen wirksam gewesen sein sollten. Wieviel der Gesammtwirkung von dieser Ursache herrührt, kann erst nach einer gründlicheren Untersuchung aller dieser Erscheinungen entschieden werden.

170. Diese Resultate, verbunden mit dem vorhin aufgestellten Gesetz, führten mich auf einen Versuch von ungemeiner Einfachheit, der aber dennoch, bei der Ausführung, seinem Zweck vollkommen entsprach. Die Ausschliessung

aller fremdartigen Umstände, die Einfachheit des Apparats und die Deutlichkeit seiner Angaben machen diesen einzigen Versuch zu einem Inbegriff von fast allen Thatsachen der magneto-elektrischen Induction.

171. Ein etwa acht Fuss langes Stück, 0,05 Zoll [153] dicken Kupferdrahts wurde mit seinen Enden an die Enden der Galvanometerdrähte befestigt, so dass der galvanometrische Bogen vollständig geschlossen war, und dann roh in die Gestalt eines Rechtecks gebogen; die untere Seite dieses Rechtecks nebst dem damit verbundenen Galvanometer wurde befestigt, die obere Seite aber beweglich gelassen, damit sie zum Galvanometer und von ihm fort geführt werden konnte (Fig. 30). Wurde dies Rechteck von der Rechten zur Linken über das Galvanometer fort bewegt, so wich die Nadel augenblicklich ab; wurde es zurückgeführt, so wich sie nach entgegengesetzter Seite ab. Wurden diese Bewegungen des Rechtecks in Uebereinstimmung mit den Vibrationen der Magnetnadel wiederholt (39), so schwang diese bald durch einen Bogen von 90° und mehr.

Fig. 30.



172. Um die Beziehung des im Draht erregten elektrischen Stroms zu den Bewegungen des Drahts aufzufassen, denke man sich die Windungen am Galvanometer fortgenommen, und boss das Rechteck mit seiner unteren Seite horizontal, in der Ebene des magnetischen Meridians liegend, und über der Mitte dieser Seite eine Magnetnadel, bloss von der Erde gerichtet, aufgehängt (Fig. 30). Führt man den oberen Theil des Rechtecks von West nach Ost in die durch die punktirte Linie vorgestellte Lage, so geht der gezeichnete Pol der Magnetnadel gen Westen. Der elektrische Strom läuft demnach in dem unter der Nadel liegenden Theil des Drahts von Nord nach Süd, und in dem oberen Theile des Parallelogramms, der bewegt worden, von Süd nach Nord. Führt man den oberen Theil des Rechtecks von Ost nach West über das Galvanometer hinweg, so geht der gezeichnete Pol der Nadel gen Ost, und der elektrische Strom daher in umgekehrter Richtung als vorhin.

173. Wurde das Rechteck in eine von Ost nach West gehende Ebene gebracht, und die Magnetnadel demselben parallel gestellt, entweder durch Torsion des Fadens oder [154] durch einen seitwärts hingelegten Magnet, so waren die Erscheinungen im Allgemeinen dieselben. Bei Fortführung der oberen Seite des Rechtecks von Nord nach Süd ging der gezeichnete Pol der Nadel gen Nord, wurde es in der entgegengesetzten Richtung bewegt, ging derselbe nach Süd. Dieselbe Erscheinung trat ein, wenn die Bewegung des Drahts in irgend einem anderen Azimuth geschah. Die Richtung des Stroms stimmte immer mit dem (114) aufgestellten Gesetz überein, und auch mit den Richtungen, welche mit der rotirenden Kugel erhalten wurden (164).

174. Es ist bei diesen Versuchen nicht nothwendig das Galvanometer oder die Nadel aus ihrer ersten Lage zu entfernen. Es ist völlig hinreichend, wenn man den Draht des Rechtecks dort, wo er das Instrument verlässt, so biegt, dass der obere Theil sich in der verlangten Richtung bewegen lassen kann.

175. Der bewegliche Theil des Drahts ward nun unter dem Galvanometer angebracht, so dass er sich senkrecht gegen die magnetische Inclination bewegen liess. Er wirkte auf dieses Instrument wie zuvor und in derselben Richtung, d. h. wenn er unter demselben von West nach Ost geführt wurde, ging das gezeichnete Ende der Nadel nach West, wie zuvor.

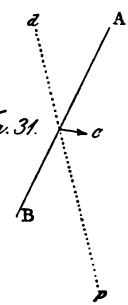


Fig. 31.

176. Wenn dp, Fig. 31, der magnetischen Inclination parallel ist, und BA den oberen Theil des Rechtecks (171) vorstellt, welches, nebst dem daran sitzenden Pfeil c, eine beliebige Lage in einer gegen die Inclinationslinie senkrechten Ebene haben mag, und man führt nun BA in Richtung des Pfeiles fort, so geht in diesem Draht der elektrische Strom von B nach A.

177. Führt man den Draht hinauf und herab parallel der Inclinationslinie, so findet keine Wirkung auf das Galvanometer statt. Neigt die Richtung der Bewegung etwas gegen die Inclinationslinie, so zeigt sich Elektricität, [155] und sie erreicht ihr Maximum, wenn die Bewegung rechtwinklig gegen jene Linie geschieht.

178. Eben so starke Wirkungen werden erhalten, wenn

man den Draht in andere Formen biegt und bewegt, besonders wenn man, statt des Rechtecks, ihn in Form einer doppelten Kettenlinie an der einen Seite des Galvanometers anbringt, und die beiden Hälften oder einfachen Curven zugleich in entgegengesetzten Richtungen schwingen lässt. Ihre Wirkungen afficiren dann gemeinschaftlich das Galvanometer; indess sind alle diese Resultate auf die oben beschrienen zurückführbar.

179. Je länger der bewegte Draht und je grösser die Bahn seiner Bewegung ist, desto stärker ist auch die Wirkung auf das Galvanometer.

180. Wegen der Leichtigkeit, mit welcher elektrische Ströme in Metallen, bei Bewegung unter dem Einfluss von Magneten, erzeugt werden, hat man sich künftig bei Versuchen mit Metallen und Magneten wohl gegen diese Wirkungen in Acht zu nehmen. Bedenkt man die Allgegenwart des Erdmagnetismus, so gelangt man zu dem auffallenden Schluss, dass schwerlich ein Stück Metall, in Berührung mit andern, entweder ruhenden oder mit verschiedener Geschwindigkeit, oder in anderer Richtung sich bewegenden Metallstücken, bewegt werden kann, ohne dass elektrische Ströme in demselben auftreten. Wahrscheinlich finden sich unter den Theilen der Dampfmaschinen und anderer metallener Maschinen zufällig sonderbare magneto-elektrische Combinationen, welche Wirkungen hervorbringen, die niemals bemerkt, oder wenigstens niemals verstanden worden sind.

181. Beim Nachdenken über die vorhin beschriebenen Wirkungen der erdmagneto-elektrischen Induction ist es fast unmöglich, sich des Gedankens zu enthalten, dass ähnliche, aber unendlich stärkere Wirkungen durch die Action des Magnets der Erdkugel auf deren eigene [**156**] Masse, in Folge ihrer täglichen Axendrehung hervorgebracht werden mögen. Es scheint, dass, wenn unter unseren Breiten ein Metallstab parallel dem magnetischen Meridian auf die Oberfläche der Erde gelegt wird, ein elektrischer Strom denselben von Süden nach Norden zu durchlaufen trachtet, in Folge seiner Fortführung von West nach Ost (172) durch die Umdrehung der Erde; dass ein Stab, der in derselben Richtung durch Drähte mit dem ersten verbunden worden ist, den Strom dieses ersten Stabs nicht zu entladen vermag, weil er eine gleiche Tendenz hat, in derselben Richtung einen Strom in sich erregen zu lassen, dass aber, wenn der letztere von Ost nach West

fortgeführt wird, was so viel ist, als eine Verminderung der ihm von der Erde (172) mitgetheilten Bewegung, ein elektrischer Strom von Süden nach Norden in dem ersten Stab sichtbar wird, in Folge seiner gleichzeitigen Entladung durch den zweiten.

182. Angenommen, die Erde sucht durch magneto-elektrische Induction elektrische Ströme in ihrer eigenen Masse hervorzurufen, so würden diese, gemäss dem (114) aufgestellten Gesetz und den Versuchen, wenigstens auf der Oberfläche, von den der Aequatorial-Ebene benachbarten Gegenden in entgegengesetzten Richtungen nach den Polen gehen; und wenn man Collectoren auf den Aequator und die Pole setzte, wie es bei der rotirenden Kupferscheibe (150) und bei den Magneten (220) geschah, so würde man negative Elektricität am Aequator, und positive an beiden Polen (222) auffangen. Allein ohne Collectoren oder eine ihnen ähnliche Vorrichtung würden offenbar diese Ströme nicht existiren können, da sie sich nicht zu entladen vermöchten.

183. Es schien mir nicht unmöglich, dass die Körper in Bezug auf die Intensität der Ströme, welche die magneto-elektrische Induction in ihnen erregt oder zu erregen sucht, gewisse natürliche Unterschiede darbieten möchten, besonders da die Herren *Arago*, *Babbage*, *Herschel* [157] und *Harris* bei ihren Rotationsversuchen in der Fähigkeit, Bewegung von einem Magnet zu erhalten oder ihm mitzutheilen (130), grosse Unterschiede gefunden haben, nicht nur zwischen den Metallen und anderen Substanzen, sondern selbst zwischen den Metallen unter sich. Ich nahm deshalb zwei Drähte, jeden von 120 Fuss Länge, den einen von Kupfer, den andern von Eisen. Diese wurden an ihren Enden mit einander verbunden, und dann in Richtung des magnetischen Meridians ausgespannt, so dass sie zwei fast parallele Linien bildeten, indess ohne sich anderswo als an den Enden zu berühren. Der Kupferdraht wurde dann in der Mitte durchschnitten und mittelst eines empfindlichen Galvanometers untersucht; allein es war keine Spur von einem elektrischen Strom zu erhalten.

184. Durch Verwendung Seiner Königl. Hoheit des Präsidenten der Königl. Gesellschaft erhielt ich von Seiner Majestät dem Könige die Erlaubniss, Versuche an dem See im Garten des Palastes von Kensington anzustellen, um in ähnlicher Weise Wasser und Metall zu vergleichen. Dieser See hat ein künstliches Becken und wird von der Chelsea-Compagnie mit

Wasser versehen; es fliesst keine Quelle in denselben, und er bietet dar, was ich suchte, eine ruhige Masse reinen Wassers mit Ufern, die nahe von West nach Ost und von Nord nach Süd laufen.

185. Zwei vollkommen reine Kupferplatten, jede von vier Quadratfuss Oberfläche, wurden an die Enden eines Kupferdrahts gelöthet, und darauf, die eine im Süden von der andern, in das Wasser getaucht, so dass der Draht am Ufer auf dem Grase lag. Die Platten lagen in gerader Linie etwa 480 Fuss aus einander, und der Draht war wahrscheinlich 600 Fuss lang; dieser Draht wurde darauf in der Mitte durchschnitten, und durch zwei Näpfchen voll Quecksilber mit einem empfindlichen Galvanometer verbunden.

[158] 186. Anfänglich wurden Anzeigen von elektrischen Strömen erhalten; allein durch Umkehrung der Berührung und durch andere Mittel ergab sich, dass dieselben von anderen, als der gesuchten Ursache herrührten. Ein kleiner Temperaturunterschied, eine kleine Portion des zur Amalgamation der Drähte gebrauchten salpetersauren Quecksilberoxyds, die in das zur Zurückführung der beiden Quecksilbernäpfe auf dieselbe Temperatur angewandte Wasser gekommen war, reichte hin, elektrische Ströme zu erregen, die, ungeachtet sie eine Strecke von 600 Fuss im Wasser zu durchlaufen hatten, auf das Galvanometer wirkten. Hatte man diese und andere störende Ursachen entfernt, so wurde keine Wirkung erhalten; und es schien, dass selbst so unähnliche Substanzen, wie Wasser und Kupfer, beim Durchschneiden der magnetischen Curven der Erde mit gleicher Schnelligkeit, einander in ihren Wirkungen vollkommen neutralisiren.

187. Hr. *Fox* hat einige höchst wichtige Resultate in Bezug auf die Elektricität der Metallgänge in den Gruben von Cornwall erhalten, welche in den Philosoph. Transact. f. 1830, p. 399, bekannt gemacht sind*). Ich habe diesen Aufsatz mit der Absicht gelesen, ob wohl eine der Erscheinungen auf eine magneto-elektrische Induction zurückführbar sei, glaube indess, obgleich ich keine recht bestimmte Meinung fassen konnte, dass es nicht der Fall sei. Wenn parallele, von Ost nach West laufende Gänge verglichen wurden, ging die vorwaltende Tendenz der Elektricität in den Dräh-

*) Vergl. Pogg. Annal. Bd. 12, S. 150.

ten von Nord nach Süd; wurde der Vergleich zwischen Theilen an der Oberfläche und in einiger Tiefe angestellt, so ging der elektrische Strom in den Drähten von oben nach unten. Sollte in der Kraft der elektrischen Ströme, die durch magneto-elektrische Induction in verschiedenartigen Substanzen oder in verschiedenen Lagen mit der Erde sich bewegenden Substanzen erregt wird, irgend ein natürlicher [159] Unterschied vorhanden sein, welcher bei Vermehrung der dieser Einwirkung unterworfenen Massen sichtbar wurde, so könnten vielleicht die Drähte und Gänge, mit denen Hr. *Fox* experimentirte, als Entlader der Elektricität der zwischen denselselben eingeschlossenen Schichtmassen gewirkt haben, und die Richtungen der Ströme würden den vorhin beobachteten gleich gewesen sein.

188. Obgleich die Elektricität, welche durch magneto-elektrische Induction aus einem wenige Fuss langen Draht erhalten wird, nur von geringer Intensität ist, und bis jetzt nur bei Metallen und einer Kohle von besonderer Beschaffenheit beobachtet wurde, so vermag sie doch durch Kochsalzlösung (23) zu gehen, und da eine Verlängerung der Drähte eine Verstärkung der Intensität hervorbringt, so hoffte ich Wirkungen von grossen strömenden Wassermassen zu erhalten, wiewohl ruhende keine gaben. Ich spannte daher auf der Brustwehr der Waterloo-Brücke einen 960 Fuss langen Kupferdraht aus, und liess von seinen Enden andere Drähte, an denen grosse Metallplatten hingen, hinab, bis letztere unter Wasser getaucht waren. Der Draht und das Wasser bildeten so einen einzigen leitenden Bogen; und da das Wasser durch die Fluth auf- und abströmte, so hoffte ich analoge Ströme wie bei der Messingkugel zu erhalten (161).

189. Wirklich erhielt ich beständig Ablenkungen am Galvanometer, allein sie waren sehr unregelmässig, und deshalb von anderen als der gesuchten Ursache hervorgebracht. Die verschiedene Reinheit des Wassers an dieser und jener Seite des Stroms; ein Temperaturunterschied; geringe Verschiedenheiten in den Platten, in dem gebrauchten Schnellloth, in dem mehr oder weniger vollkommenen Contact der zusammengeflochtenen oder auf andere Weise verbundenen Drähte; alle diese Umstände trugen mit zu den Wirkungen bei. Auch als ich den Versuch bloss mit dem durch die mittleren Brückenbogen [160] fliessenden Wasser anstellte, Platinplatten statt der Kupferplatten anwandte, und jede andere Vorsichts-

maassregel traf, so konnte ich doch nach drei Tagen kein genügendes Resultat erhalten.

190. Von theoretischer Seite scheint es eine nothwendige Folgerung, dass wo Wasser fliesst auch elektrische Ströme gebildet werden, denkt man sich z. B. eine Linie gezogen von Dover nach Calais durch die See und unter dem Wasser durch den Boden nach Dover zurück, so bildet dieselbe einen leitenden Bogen, von dem der eine Theil, wenn das Wasser im Kanal hin- und herströmt, die magnetischen Curven der Erde schneidet, während der andere relativ in Ruhe bleibt. Dies ist eine Wiederholung des Draht-Versuchs (171), aber mit schlechteren Leitern. Indess kann man mit vollem Grunde glauben, dass elektrische Ströme in einer oder der andern Richtung den oben beschriebenen Bogen durchlaufen, je nachdem das Wasser in dem Kanal hin- und herströmt. Wo das fliessende Wasser eine ausserordentlich grosse Ausdehnung in die Breite hat, ist es nicht unwahrscheinlich, dass Wirkungen sichtbar werden, und der Gulfstrom mag vielleicht auf diese Weise, vermöge der durch die Erde mittelst magneto-elektrischer Induction erzeugten und ihn durchkreuzenden elektrischen Ströme, einen merklichen Einfluss auf die Gestalt der magnetischen Abweichungslinien ausüben*).

191. Obgleich bis jetzt keine positiven Resultate in Betreff der Wirkung des Erdkörpers auf Wasser und wässrige Flüssigkeiten erhalten wurden, so ist doch, [161] da die Versuche in einem sehr kleinen Maassstabe angestellt wurden, und dergleichen Flüssigkeiten doch mit künstlichen Magneten elektrische Ströme lieferten (23), denn Uebertragung des Stroms ist Beweis von seiner Erzeugung (213), die Annahme, dass die Erde diese inducirten Ströme in Folge der täglichen Axendrehung hervorbringe (181), sehr wahrscheinlich (222, 223); und wenn man erwägt, dass die sich bewegenden Massen die magnetischen Curven auf tausende von Meilen durchsetzen, und sie sowohl im Innern als an der Oberfläche der Erde in verschiedenen Richtungen schneiden, so ist es möglich, dass die Elektricität zu einer beträchtlichen Stärke anwächst.

*) Theoretisch genommen, würde selbst jedes Schiff oder Boot, das unter nördlichen oder südlichen Breiten auf dem Wasser fährt, senkrecht gegen die Richtung seiner Bewegung von elektrischen Strömen durchschnitten sein; und ähnliche Ströme würden beim Vorüberfliessen des Wassers an der Seite des ruhenden Schiffs, der Anker u. s. w. erzeugt werden.

192. Kaum wage ich, selbst in der hypothetischsten Form, zu fragen, ob das Nord- und Südlicht die Entladung von Elektricität sei, die, so nach den Erdpolen getrieben, durch natürliche und bestimmte Wege oberhalb der Erde zu den Aequatorialregionen zurückzukehren sucht. Das Nichtvorkommen dieses Phänomens in sehr hohen Breiten steht keineswegs in Widerspruch mit dieser Annahme; und es ist merkwürdig, dass Hr. *Fox*, welcher die Ablenkungen der Magnetnadel durch das Nordlicht zu Falmouth beobachtete, derselben diejenige Richtung giebt, welche vollkommen mit der gegenwärtigen Ansicht übereinstimmt. Seiner Angabe nach geschehen bei Nacht alle Ablenkungen gegen Ost*); und gerade dies würde sich ereignen, wenn elektrische Ströme in der Erde von Süd nach Nord, und über der Nadel von Nord nach Süd getrieben werden.

VI. Allgemeine Bemerkungen und Erläuterungen über die Kraft und Richtung der magneto-elektrischen Induction.

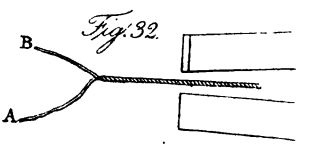
193. Bei der Wiederholung und Abänderung, welche die Herren *Babbage*, *Herschel* und *Harris* mit dem *Arago*'schen Versuch vornahmen, richteten diese Physiker [**162**] ihre Aufmerksamkeit auf die Kraftunterschiede, welche unter den Metallen und anderen Substanzen hinsichtlich ihrer Wirkung auf einen Magnet beobachtet wurden. Diese Unterschiede waren sehr gross**), und erregten in mir die Hoffnung, dass sich wichtige Resultate durch mechanische Combinationen verschiedener Metalle erhalten lassen würden (183). Deshalb wurden die folgenden Versuche angestellt, in der Absicht, wo möglich, irgend einen derartigen Unterschied in der Wirkung zweier Metalle zu erhalten.

194. Ein mit Baumwolle besponnener Mützen-Draht (bonnet-wire) von weichem Eisen wurde an einem Ende von seiner Bekleidung entblösst, blank geputzt und daselbst mit dem blanken Ende eines Kupferdrahts in metallische Berührung gesetzt. Beide Drähte wurden, auf einer Strecke von 18 bis 20 Zoll wie ein Strick zusammengedreht, die nicht zusammengedrehten Enden aus einander gebogen und

*) Philosoph. Transact. f. 1831, p. 202.
**) Philosoph. Transact. f. 1825, p. 472; 1831, p. 78.

mit den Galvanometerdrähten verbunden. Der Eisendraht war etwa zwei Fuss lang, die Verlängerung nach dem Galvanometer war von Kupfer.

195. Der zusammengedrehte Kupfer- und Eisendraht (welche sich nirgends als an den Enden berührten) wurde dann zwischen die Pole eines kräftigen Hufeisenmagnets (Fig. 32) gebracht; allein es konnte nicht die geringste Wirkung am Galnometer beobachtet werden, obgleich die Vorrichtung geeignet schien, einen etwaigen elektrischen Unterschied zwischen den beiden Metallen hinsichtlich der Einwirkung des Magnets zu entdecken.



196. Es wurde nun ein Cylinder von weichem Eisen in der Mitte mit Papier überzogen, das zusammengedrehte Ende des obigen Doppeldrahts in Schraubengestalt um denselben gewickelt, und dann die Enden *A* und *B* mit dem Galvanometer verbunden. Hierauf wurde der Eisencylinder mit den Polen eines starken Magnets von dreissig Pfund Tragkraft in Berührung gesetzt; allein [**163**] es erschienen keine Zeichen von Elektricität am Galvanometer. Beim Vollziehen und Aufheben der Berührung war jede Vorsicht getroffen, die Wirkung anzuhäufen; allein dennoch liessen sich keine Anzeichen von einem Strome erhalten.

197. Kupfer und Zinn, Kupfer und Zink, Zinn und Zink, Zinn und Eisen, Zink und Eisen wurden gegen einander in ähnlicher Weise (174) geprüft; allein nicht das geringste Zeichen von elektrischen Strömen konnte erlangt werden.

198. Zwei flache Spiralen, eine von Kupfer und eine von Eisen, und beide 18 Zoll Draht enthaltend, wurden, nachdem sie mit einander und mit dem Galvanometer verbunden worden waren, einander gegenüber aufgestellt, so dass die Windungen in entgegengesetzter Richtung liefen. Als sie dem Magnetpol (53) genähert wurden, waren keine Anzeichen von Elektricität am Galvanometer zu beobachten. Wenn eine der Spiralen herumgedreht wurde, so dass in beiden die Windungen gleiche Richtung hatten, so war die Wirkung auf das Galvanometer sehr kräftig.

199. An dem früher (8) beschriebenen zusammengesetzten Schraubendraht von Kupfer und Eisen wurden alle Eisenwin-

dungen, zusammen 214 Fuss, zu einem Schraubendraht, und alle Kupferwindungen, 208 Fuss betragend, zu einem zweiten Schraubendraht verbunden. Die beiden ähnlich liegenden Enden *AA* dieser beiden Schraubendrähte von Kupfer und Eisen wurden mit einander vereint, und ihre beiden andern Enden *BB* mit dem Galvanometer verbunden, so dass, wenn man einen Magnet in die Axe der Windungen steckte, die in dem Eisen und Kupfer erregten Ströme streben mussten in entgegengesetzter Richtung zu gehen. Indess es mochte ein Magnetstab hineingeführt werden, oder ein hineingestellter weicher Eisenstab durch Berührung mit Magnetpolen [**164**] magnetisirt werden, so wurde doch keine Wirkung auf die Nadel hervorgebracht.

200. Ein etwa 14 Zoll langes Glasrohr wurde mit starker Schwefelsäure gefüllt, dann ein blanker Kupferdraht mit einem seiner Enden, das auf eine Strecke von 12 Zoll zu einem Bündel zusammengebogen war, um der Säure eine grosse Oberfläche darzubieten, in die Röhre gesteckt, und das Uebrige des Drahts aus der Röhre zum Galvanometer geführt. Ein zweiter an seinem Ende ähnlich zusammengebogener Draht wurde in das andere Ende der Schwefelsäure getaucht und auch mit dem Galvanometer verbunden, so dass in diesem Versuch Säure und Kupfer in derselben Relation zu einander waren, wie im vorhergehenden (194) Eisen und Kupfer. Als diese Vorrichtung in ähnlicher Weise zwischen die Pole des Magnetes gebracht wurde, konnte nicht die geringste Wirkung am Galvanometer wahrgenommen werden.

201. Aus diesen Versuchen erhellt, dass, wenn verschiedenartige Metalle, zu einem Bogen vereint, der magnetoelektrischen Induction in jeder Hinsicht gleich unterworfen werden, sie in Bezug auf die elektrischen Ströme, welche sich in ihnen entweder bilden oder zu bilden trachten, genau gleiche Kräfte zeigen. Dasselbe scheint mit Flüssigkeiten und wahrscheinlich mit allen übrigen Substanzen der Fall zu sein.

202. Doch schien es unmöglich, dass diese Resultate die relative inducirende Kraft des Magnets auf die verschiedenen Metalle anzeigen konnten; denn dass die Wirkung in gewisser Beziehung zu dem Leitungsvermögen stehe, schien eine nothwendige Folge (139), da der Einfluss rotirender Scheiben auf Magnete, wie gefunden worden, allgemein in Beziehung zu dem Leitungsvermögen der angewandten Substanz steht.

203. In dem Rotationsversuch (81) wird der elektrische

Strom in derselben Substanz erregt und entladen, sie mag ein guter oder schlechter Leiter sein; allein bei [165] den eben beschriebenen Versuchen konnte der im Eisen erregte Strom sich nicht anders als durch Kupfer fortpflanzen, und der im Kupfer erregte nur durch Eisen; d. h. angenommen, dass in den Metallen, proportional ihrem Leitungsvermögen, Ströme von ungleicher Stärke erregt werden, so hatte der stärkere Strom durch den schlechtesten Leiter, und der schwächere durch den besten zu gehen.

204. Es wurden daher verschiedene Metalle, isolirt von einander, zwischen die Pole eines Magnets geführt, während ihre entgegengesetzten Enden mit demselben Ende des Galvanometerdrahts verbunden waren, so dass die gebildeten und zum Galvanometer übergeführten Ströme entgegengesetzte Richtung haben mussten. Bei Anwendung beträchtlicher Längen von verschiedenen Drähten wurden schwache Ablenkungen erhalten.

205. Um ganz sichere Resultate zu erhalten, wurde ein neues Galvanometer construirt, bestehend aus zwei unabhängigen Gewinden, von denen jedes einen 18 Fuss langen, mit Seide besponnenen Kupferdraht enthielt. Diese Gewinde waren an Gestalt und in der Zahl der Umläufe genau einander gleich; die Windungen liefen neben einander weg und bildeten einen kleinen Zwischenraum, in dem eine Doppelnadel, genau wie in dem früheren Instrument (87), an einem Seidenfaden aufgehängt wurde. Wenn durch diese Gewinde, die mit den Buchstaben K und L bezeichnet sein mögen, elektrische Ströme in gleicher Richtung geleitet wurden, so wirkten sie mit der Summe ihrer Kräfte auf die Nadel, bei entgegengesetzter Richtung der Ströme aber mit dem Unterschiede ihrer Kräfte.

206. Nun wurde der zusammengesetzte Schraubendraht (199, 8) in Verbindung gesetzt durch die Enden A und B des Eisens mit den Enden A und B des Galvanometer-Gewindes K, und die Enden A und B des Kupfers mit den Enden B und A des Galvanometer-Gewindes [166] L, so dass die in den beiden Schraubendrähten erregten Ströme in umgekehrter Richtung durch die Gewinde K und L gehen mussten. Bei Einsteckung eines kleinen cylindrischen Magnetstabes in die Schraubendrähte wurde die Galvanometernadel stark abgelenkt. Als der eiserne Schraubendraht abgetrennt ward, bewirkte der Magnetstab mit dem kupfernen Schraubendraht allein eine noch stärkere Ablenkung in derselben Richtung. Als der eiserne Schraubendraht wieder verbunden und der

kupferne abgetrennt ward, bewirkte der Magnet eine mässige Ablenkung in entgegengesetzter Richtung. Es war also offenbar der in dem Kupferdraht durch den Magnetstab erregte Strom weit kräftiger, als der durch denselben Magnet in einem gleichen Eisendraht erregte.

207. Um jeden Fehler zu vermeiden, der vielleicht dadurch entstehen konnte, dass das eine Gewinde wegen grösserer Nähe oder aus sonst einem Grunde stärker als das andere auf die Nadel wirke, wurden die Enden des Kupfer- und des Eisendrahts in Bezug auf die galvanometrischen Gewinde K und L vertauscht, so dass dasjenige, welches zuvor den im Kupfer erregten Strom leitete, jetzt den vom Eisen leiten musste, und umgekehrt. Allein es zeigte sich wie zuvor dieselbe auffallende Uebermacht des Kupfers. Dieselbe Vorsichtsmaassregel wurde bei den ferner noch zu beschreibenden Versuchen mit anderen Metallen getroffen.

208. Ich nahm nun Drähte von Eisen, Zink, Kupfer, Zinn und Blei, von gleichem, etwa $^1/_{20}$ Zoll betragendem Durchmesser, und verglich genau gleiche, nämlich 16 Fuss lange Stücke paarweis in folgender Art: Die Enden des Kupferdrahts wurden mit den Enden A und B des Galvanometer-Gewindes K, und die Enden des Zinkdrahts mit den Enden des Galvanometer-Gewindes L verbunden. Der mittlere Theil eines jeden Drahts wurde dann sechs Mal um einen mit Papier überzogenen Cylinder von weichem Eisen gewickelt, der lang genug war, um [167] mit Hrn. *Daniell*'s Hufeisenmagnet (56) in Verbindung gesetzt zu werden (Fig. 33), so dass zwei gleiche Schraubendrähte, der eine von Kupfer, der andere von Zink, und jeder von sechs Windungen, den Stab an zwei von einander und von den Magnetpolen gleich weit entfernten Stellen umgaben. Diese Schraubendrähte waren indess in entgegengesetzter Richtung gewunden, so dass sie entgegengesetzte Ströme durch die Galvanometer-Gewinde K und L senden mussten.

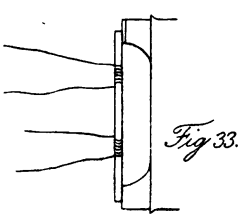


Fig. 33.

209. Beim Vollziehen und Aufheben der Berührung zwischen dem Eisenstab und den Magnetpolen fand eine starke Einwirkung auf das Galvanometer statt; eine noch stärkere Einwirkung in gleichem Sinne erlitt er, als der Zinkdraht

ausgelöst wurde. Mit Beachtung aller der (207) angegebenen und sonstigen Vorsichtsmaassregeln, zeigte es sich überreichlich, dass der durch den Magnet in dem Kupfer erregte Strom weit stärker als der in dem Eisen war.

210. Als darauf das Kupfer in ähnlicher Weise mit Zinn, Blei und Eisen verglichen wurde, zeigte sich, dass es sie alle übertraf, selbst im höheren Grade als zuvor das Zink. Dann ward das Zink mit Zinn, Blei und Eisen verglichen, und dabei ergab sich, dass es einen kräftigeren Strom als alle diese Metalle erregte. Auf dieselbe Weise wurde Eisen wirksamer gefunden als Zinn und Blei. Dann kam Zinn und zuletzt Blei.

211. Die Metalle stehen demnach in der Ordnung: Kupfer, Zink, Eisen, Zinn und Blei, also in der, welche sie hinsichtlich ihres Leitungsvermögens für Elektricität einnehmen; dieselbe Ordnung befolgen sie auch, mit Ausnahme des Eisens, bei den Magneto-Rotationsversuchen der Herren *Babagge*, *Herschel*, *Harris* u. s. w. Bei den letzteren Versuchen hatte das Eisen, wegen seiner gewöhnlichen magnetischen Eigenschaften, eine grössere Kraft, und seine Stelle in Bezug auf die hier in Rede stehende magneto-elektrische Action kann durch [168] solche Versuche nicht ausgemittelt werden. Auf die oben angegebene Art lässt sie sich aber richtig bestimmen *).

212. Es ist noch zu bemerken, dass in diesen Versuchen nicht der Gesammteffect zwischen verschiedenen Metallen erhalten wird; denn von den in jedem Bogen enthaltenen 34 Fuss Draht waren 18 Fuss, als Galvanometer-Gewinde, in beiden von Kupfer; und da der gesammte Bogen zur resultirenden Kraft des Stromes beiträgt, so muss dadurch der Unterschied, welcher sich zwischen den Metallen, im Fall jeder Bogen gänzlich aus einem einzigen Metalle bestände, zeigen würde, vermindert werden. Im gegenwärtigen Fall beträgt der erhaltene Unterschied wahrscheinlich nicht mehr als die Hälfte von dem, welcher sich gezeigt haben würde, wenn jeder Bogen aus einem einzigen Metall bestanden hätte.

---

*) Herr *Christie*, als der für vorliegende Abhandlung bestimmte Berichterstatter, hatte dieselbe in Händen, ehe sie vollendet war, und empfand die Schwierigkeit (202); zu eigener Beruhigung stellte er mit dem grossen Magnet (44) Versuche an in Bezug auf Eisen und Kupfer und kam zu denselben Schlussfolgerungen wie ich. Beide Versuchsreihen waren völlig unabhängig von einander, da keiner von uns von des Andern Vorgehen Kenntniss hatte.

213. Diese Resultate scheinen zu beweisen, dass die Stärke der durch magneto-elektrische Induction in Körpern erregten Ströme proportional ist dem Leitungsvermögen dieser Körper. Dass sie genau dem Leitungsvermögen proportional sei, und gänzlich von demselben abhänge, ist, wie ich glaube, durch die vollkommene Neutralität erwiesen, welche sich zeigt, wenn zwei Metalle oder andere Substanzen, wie Säure, Wasser, u. s. w. (201, 186), einander entgegenwirkend aufgestellt werden. Der schwache Strom, welcher sich in dem schlechteren Leiter zu entwickeln sucht, findet in dem besseren Leiter einen leichteren Durchgang, und der stärkere Strom, der in dem letzteren zu entstehen trachtet, wird durch den Widerstand in ersterem geschwächt; und die erzeugenden und hemmenden Kräfte heben einander so vollkommen auf, dass eine vollkommene Neutralisation entsteht. Da nun Hemmung sich umgekehrt wie das Leitungsvermögen verhält, so muss die Tendenz zur Erzeugung eines Stroms sich direct verhalten wie diese Kraft, um dieses vollkommene Gleichgewicht hervorzubringen.

214. Die Ursache der Gleichheit der Wirkung unter [**169**] den verschiedenen vorhin beschriebenen Umständen, wo Bögen von Drähten (183) oder von einem Draht und Wasser (184) zusammen verbunden waren, welche doch so verschiedene Wirkungen auf den Magnet hervorbringen, ist nun klar und einfach.

215. Die Wirkungen einer rotirenden Substanz auf eine Magnetnadel oder einen Magnetstab müssen, wo der gewöhnliche Magnetismus keinen Einfluss hat, sich direct wie das Leitungsvermögen der Substanz verhalten. Ich wage nun zu behaupten, dass dies wirklich der Fall sei, und dass in allen Fällen, wo man wahrgenommen haben will, dass Nichtleiter diese besondere Wirkung hervorbringen, die Bewegung von einer fremdartigen Ursache entstanden sei, z. B. aus mechanischer Mittheilung von Bewegung durch die Theile des Apparats oder auf sonstige Weise (wie in dem von Hrn. *Harris* bezeichneten Fall)*), oder aus den gewöhnlichen magnetischen Anziehungen. Um die Wirkungen der letzteren von denen der erregten elektrischen Ströme zu unterscheiden, habe ich eine sehr vollkommene Probe aufgefunden, welche ich weiterhin (243) beschreiben werde.

*) Philosoph. Transact. f. 1831, p. 68.

216. Es ist mit allem Grund zu glauben, dass der Magnetstab oder die Magnetnadel ein vortreffliches Maass für das Leitungsvermögen der neben ihnen rotirenden Substanzen sei, denn ich habe durch sorgfältige Versuche gefunden, dass, wenn ein constanter elektrischer Strom successiv durch gleich dicke Drähte von Kupfer, Platin, Zink, Silber, Blei und Zinn geleitet wird, die Ablenkungen der Nadel genau gleich waren bei allen. Man muss sich erinnern, dass, wenn Körper in einer Horizontalebene rotiren, die Erde auf sie einwirkt. Da diese Wirkung sich über die ganze Scheibe verbreitet, so so mag sie in diesen Fällen nicht störend sein; allein bei einigen Versuchen und Berechnungen mag sie von grossem Einfluss sein.

[170] 217. Ein anderer Punkt, den ich auszumitteln suchte, bestand darin, ob es wesentlich sei oder nicht, dass der sich bewegende Theil des Drahts, bei Durchschneidung der magnetischen Curven, in Stellungen von grösserer oder geringerer magnetischer Kraft übergehe; oder ob, bei steter Durchschneidung von Curven gleicher magnetischer Intensität, die blosse Bewegung zur Erzeugung des Stromes hinreichend sei. Die Richtigkeit des letzteren Falls ist bereits bei mehreren Versuchen über die erdmagneto-elektrische Induction bewiesen. So wurden die elektrischen Ströme in der Kupferplatte (149), die in der rotirenden Kugel (161 etc.) und die in dem bewegten Draht (171) sämmtlich unter Umständen erzeugt, bei denen die magnetische Kraft während des ganzen Versuchs nicht anders als gleich sein konnte.

218. Um diesen Punkt für einen gewöhnlichen Magnet zu erweisen, kittete ich eine Kupferscheibe auf dem mit Papier überzogenen Ende eines cylindrischen Magnets fest, setzte den Magnet und die Scheibe zusammen in Rotation, und brachte Collectoren, die mit dem Galvanometer verbunden waren, in Berührung mit dem Umfang und dem centralen Theil der Kupferscheibe. Die Galvanometernadel wurde wie in den früheren Fällen bewegt, und die Richtung ihrer Bewegung war dieselbe, welche stattgefunden haben würde, wenn nur die Kupferscheibe rotirt hätte und der Magnet befestigt gewesen wäre. Auch war anscheinend kein Unterschied in der Grösse der Ablenkung. Folglich bringt das Rotiren des Magnets keinen Unterschied in den Resultaten zu Wege; denn ein rotirender und ein stationärer Magnet erzeugen dieselbe Wirkung auf das sich drehende Kupfer.

219. Ein an dem einen Ende verschlossener Kupfercylinder wurde nun auf einen Magnetstab geschoben, so dass er, gleich einer Kappe, die eine Hälfte desselben [171] umschloss; er war gut befestigt, und durch zwischengelegtes Papier an jeder unmittelbaren Berührung mit dem Magnetstabe gehindert. Diese Vorrichtung wurde dann auf Quecksilber, das sich in einer engen Flasche befand, zum Schwimmen gebracht, so dass der untere Rand des Kupfercylinders das flüssige Metall berührte. Einer der Galvanometerdrähte wurde in dieses Quecksilber getaucht, und der andere in eine kleine Grube mitten in dem Deckel der Kupferkappe. Als der Magnet mit dem daransitzenden Cylinder in Rotation versetzt wurde, ging ein starker elektrischer Strom durch das Galvanometer, in derselben Richtung, wie wenn nur der Cylinder rotirt und der Magnet sich nicht bewegt hätte. Die Resultate sind also dieselben, wie bei der Scheibe (218).

220. Dass das Metall des Magnetstabes selbst statt des rotirenden Cylinders, Drahts oder der Scheibe genommen werden könne, erschien als eine unabweisbare Folgerung, und zugleich als das Mittel, welches die Wirkungen der magnetoelektrischen Induction in der auffallendsten Form zeigen würde. Ein cylindrischer Magnetstab, an jedem seiner Enden mit einem Grübchen zur Aufnahme eines Tropfens Quecksilber versehen, wurde in demselben Metall, das sich in einer engen Flasche befand, aufrecht zum Schwimmen gebracht, und dann der eine Galvanometerdraht in das Quecksilber der Flasche, und der andere in den Tropfen im Grübchen am oberen Ende des Stabes getaucht. Als nun der Magnet durch eine umgeschlungene Schnur in Rotation versetzt wurde, wies die Galvanometernadel sogleich einen kräftigen elektrischen Strom nach. Bei Umkehrung der Rotation ging auch der Strom in entgegengesetzter Richtung. Die Richtung des elektrischen Stroms war dieselbe, wie wenn der Kupfercylinder (219) oder ein Kupferdraht um den feststehenden Magnetstab rotirt hätte, in gleicher Richtung, in welcher der Magnet gedreht wurde. Hieraus ergiebt [172] sich eine sonderbare Unabhängigkeit zwischen dem Magnetismus und dem Stab, worin er befindlich ist.

221. In dem obigen Versuche reichte das Quecksilber etwa bis zur Mitte des Magnetstabes hinauf; indess, wenn auch die Menge desselben bis auf ein Achtelzoll vom oberen Ende vermehrt, oder bis etwa zu eben dem Abstande vom

unteren Ende vermindert wurde, traten dieselben Erscheinungen und dieselbe Richtung des elektrischen Stromes ein. Bei diesen beiden äussersten Verhältnissen schienen die Wirkungen nicht so stark zu sein, wie wenn die Quecksilberfläche in der Mitte des Stabes oder zwischen dieser und einem Zoll von einem der Enden lag. Der Magnet war $8^1/_2$ Zoll lang, und hielt $^3/_4$ Zoll im Durchmesser.

222. Wurde der Magnet umgekehrt, und dann in derselben Richtung zum Rotiren gebracht, d. h. in beiden Fällen entweder schraubenrecht oder umgekehrt, so entstand ein entgegengesetzter elektrischer Strom. Wenn aber der Magnet, in Bezug auf seine eigene Axe, fortwährend in der nämlichen Richtung gedreht ward, dann war die Elektricität, welche an seinem Aequator oder in dessen Nachbarschaft, oder in den demselben entsprechenden Theilen gesammelt wurde, derjenigen entgegengesetzt, welche an den beiden Polen gesammelt ward. Wird der Magnet parallel der Erdaxe gehalten, mit seinem ungezeichneten Pol gegen den Polarstern gerichtet, so dass seine oberen Theile von Westen nach Osten gehen, in Uebereinstimmung mit der Axendrehung der Erde, so kann man positive Elektricität an seinen beiden Enden, und negative in seiner Mitte oder ringsum sammeln.

223. War das Galvanometer sehr empfindlich, so reichte, wenn der eine Galvanometerdraht das Ende des Stabes, und der andere die Aequatorial-Theile desselben berührte, das blosse Umherkreisen des Magnetstabs in der Luft hin, einen elektrischen Strom zu erregen und die Nadel abzulenken.

[173] 224. Nun wurden Versuche mit einem ähnlichen Magnetstab angestellt, um auszumitteln, ob irgend eine Rückkehr vom elektrischen Strome an den centralen oder Axentheilen stattfinde, da sie gleiche Winkelgeschwindigkeit wie die übrigen Theile haben (259); der Erwartung nach konnte das nicht eintreten.

225. Ein cylindrischer Magnetstab, sieben Zoll in Länge und drei Viertelzoll im Durchmesser, wurde an einem Ende, in Richtung seiner Axe, mit einem drei Zoll tiefen und einen Viertelzoll weiten Loch versehen. Ein mit Papier umwickelter und an beiden Enden amalgamirter Kupfercylinder wurde in dem Loch befestigt, so dass er am unteren Ende durch etwas Quecksilber in metallischer Berührung mit der Mitte des Magnets stand, an den Seiten durch Papier isolirt war, und etwa einen Viertelzoll zum oberen Ende des Magnetstabs

herausragte. Auf den Kupferstab wurde eine Federpose geschoben, so dass sie bis zu dem Papier hinabreichte und oben ein Näpfchen bildete, um das zum Schliessen des Bogens nöthige Quecksilber aufzunehmen. Auch das obere Ende des Magnetstabs ward mit einem hohen Papierrand umgeben, und in diesen Quecksilber geschüttet, welches indess in keiner metallischen Verbindung mit dem in der Federpose stand, ausgenommen durch den Magnet selbst und den Kupferstab (Fig. 34). Die Drähte *A* und *B* von dem Galvanometer wurden in diese beiden Portionen Quecksilber getaucht, und der etwa vorhandene Strom konnte daher durch sie nur hinab nach den Aequatorial-Theilen des Magnets, und von da wieder herauf nach dem Kupferstab gehen oder umgekehrt.

226. Wenn nach dieser Vorrichtung der Magnetstab schraubenrecht in Rotation gesetzt wurde, wich das gezeichnete Ende der Galvanometernadel nach Westen ab, als Anzeige, dass ein elektrischer Strom durch das Instrument von *A* nach *B* und folglich durch den Magnet und Kupferdraht von *B* nach *A* ging (Fig. 34).

227. Der Magnet wurde nun, wie zuvor (219), in [174]

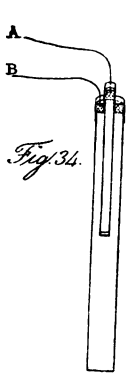


Fig. 34.

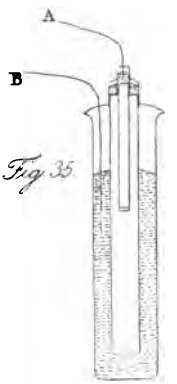


Fig. 35.

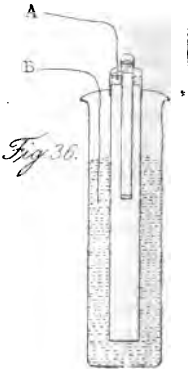


Fig. 36.

eine Flasche mit Quecksilber (Fig. 35) gesetzt, der Draht *A* in Berührung mit der Kupferaxe gelassen, aber der Draht *B* in das Quecksilber der Flasche getaucht, also in metallische Communication mit den Aequatorial-Theilen des Magnets gesetzt, während er früher mit dem Polar-Ende verbunden war. Bei schraubenrechter Axendrehung des Magnets wurde die

Galvanometernadel in derselben Richtung wie zuvor abgelenkt, aber weit kräftiger. Es ist übrigens klar, dass die Theile des Magnets vom Aequator bis zum Pol sich ausserhalb des magnetischen Bogens befanden.

228. Darauf wurde der Draht *A* mit dem Quecksilber an dem Ende des Magnets verbunden, während der Draht *B* noch mit dem in der Flasche in Berührung blieb (Fig. 36), so dass die Kupferaxe ganz ausserhalb des Bogens blieb. Der wiederum schraubenrecht in Rotation versetzte Magnetstab bewirkte abermals eine Ablenkung der Nadel; der Strom war eben so stark wie bei dem letzten Versuch (227), und viel stärker als bei dem ersteren (226).

229. Hieraus folgt, dass in der Mitte des Magnets keine Entladung des Stroms stattfindet, denn der nun frei entwickelte Strom ging aufwärts durch den Magnet, während er in dem ersten Versuch (226) hinabging. In der That war damals nur der Theil des sich bewegenden Metalls, welcher sich gleich einem Scheibchen vom Ende des Drahts *B* im Quecksilber bis zum Draht *A* erstreckte, der wirksame, d. h. derjenige, welcher sich mit anderer Winkelgeschwindigkeit drehte, als der übrige Bogen (258); und für diese Portion stimmt die Richtung des Stroms mit den übrigen Resultaten überein.

230. In den beiden letzten Versuchen sind die Seitentheile des Magnets oder Kupferstabs die sich bewegenden in Bezug auf die anderen Theile des Bogens, d. h. auf die Galvanometerdrähte; und da sie ausgedehnter sind, mehr magnetische Curven schneiden, oder sich [175] mit grösserer Schnelligkeit bewegen, so erzeugen sie einen grösseren Effect. In dem scheibenförmigen Theil geht der durch die Induction erregte Strom immer vom Umfang zum Mittelpunkt.

231. Das Gesetz, nach welchem der elektrische Strom in Körpern, die sich in Bezug auf Magnete bewegen, von der Durchschneidung der magnetischen Curven seitens des Metalls (114) abhängt, ist dadurch genauer und bestimmter geworden (217, 220, 224), und scheint nun auch auf den Fall im ersten Abschnitt des vorhergehenden Aufsatzes anwendbar zu sein; und indem es einen vollkommen ausreichenden Grund für die erzeugten Effecte giebt, vernichtet es jeden Anlass für die Annahme des eigenthümlichen Zustandes, welchen ich den elektrotonischen Zustand zu nennen wagte (60).

232. Wenn ein elektrischer Strom durch einen Draht

geleitet wird, so ist letzterer an jeder Stelle von magnetischen Curven umgeben, die mit ihrem Abstande von dem Drahte schwächer werden, und sich mit Ringen vergleichen lassen, die in senkrechten Ebenen gegen den Draht, oder vielmehr gegen den in demselben vorhandenen Strom gelegen sind. Diese Curven sind, obwohl von anderer Form, vollkommen denen analog, die zwischen zwei gegenüberliegenden Magnetpolen entgegengesetzter Art existiren; und wenn ein zweiter Draht demjenigen, welcher den Strom durchleitet, in paralleler Lage genähert wird (18), so geht er durch magnetische Curven genau von gleicher Art mit denen, welche er durchschneiden müsste, wenn er in gerader Linie zwischen zwei entgegengesetzte Magnetpole geführt würde (109); und so wie er sich von dem erregenden Draht entfernt, schneidet er die Curven um denselben in gleicher Weise, als er die zwischen denselben Polen schneiden würde, wenn man ihn in der anderen Richtung führte.

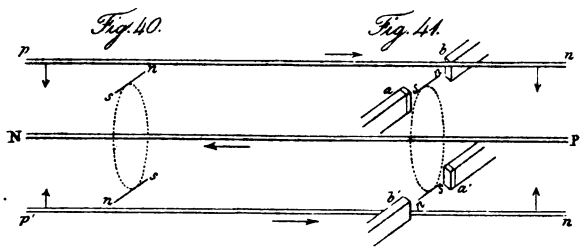
233. Wenn der Draht *NP* (Fig. 40) in der Richtung von *P* nach *N* einen elektrischen Strom [**176**] hindurch lässt, so kann der punktirte Ring eine der ihn umgebenden magnetischen Curven bedeuten, und in dieser Richtung stellen bewegliche Magnetnadeln sich so, wie es die Figur zeigt, wo *n* und *s* die Nord- und Südpole bezeichnen (44, Anmerkung).

234. Wenn man aber den elektrischen Strom für eine Weile unterbricht und Magnetpole zum Richten der Magnetnadeln anwendet, so müssen diese, wenn die Nadeln dieselbe Lage haben sollen, wie vorhin unter dem Einfluss des elektrischen Stroms in die Fig. 41 abgebildete Stellung gebracht werden, d. h. die Pole *a b* über dem Draht müssen entgegengesetzte Lage haben, wie die Pole *a' b'* unter dem Draht. Für solche Lage haben demnach die magnetischen Curven zwischen den Polen *a b* und *a' b'* dieselbe allgemeine Richtung mit den entsprechenden Theilen der ringförmigen magnetischen Curve, welche den den elektrischen Strom fortleitenden Draht umgiebt.

235. Wenn nun der zweite Draht *p n* (Fig. 40) dem den Strom leitenden Hauptdraht genähert wird, so schneidet er eine Anzahl magnetischer Curven von ähnlicher Richtung wie die abgebildeten, und folglich von ähnlicher Richtung wie die zwischen den Polen *a b* der Magnete (Fig. 41); und zwar schneidet er die Curven des Stroms in derselben Weise, wie er die Curven des Magnets schneiden würde, wenn man ihn

von oben zwischendurch die Pole nach unten führte. Eine solche Intersection der Curven des Magnets würde aber in dem Draht einen elektrischen Strom von p nach n erregen (114); und da die Curven des Stroms ein gleiche Anordnung haben, so muss aus deren Durchschneidung dieselbe Wirkung entspringen. Dies ist wirklich der Fall, denn bei der Annäherung wird ein secundärer Strom von entgegengesetzter Richtung mit dem Hauptstrom (19) erregt.

236. Wird der Draht $p'n'$ von unten nach oben [177] geführt, so geht er zwar in entgegengesetzter Richtung zwi-



schendurch die Pole; da aber dann auch die Pole selbst umgekehrt liegen (Fig. 41), so behält der secundäre Strom die frühere Richtung (114). Aus einem eben so zureichenden und einfachen Grunde geht er auch noch in gleicher Richtung, wenn er durch den Einfluss der von dem Draht abhängigen Curven erzeugt wird.

237. Hält man den zweiten Draht in Ruhe neben dem Hauptdraht, so wird kein Strom in ihm erregt, denn er durchschneidet keine magnetischen Curven. Wird er aber von dem Hauptdraht entfernt, so schneidet er die magnetischen Curven in entgegengesetzter Richtung wie zuvor (235); und deshalb wird ein Strom von umgekehrter Richtung wie früher erregt, d. h. von gleicher Richtung mit dem Hauptstrom (19). Dasselbe würde geschehen, bewegte man den Draht in Bezug auf die Magnetpole (Fig. 41) in umgekehrter Richtung, so dass er die daselbst vorhandenen Curven in entgegengesetzter Richtung wie zuvor schneiden müsste.

238. Bei den ersten Versuchen (10, 13) behielten beide Drähte, der erregende wie der erregte, einen festen Abstand von einander, und durch den ersteren wurde der elektrische

Strom gesandt. In solchen Fällen muss man annehmen, die magnetischen Curven bewegten sich (wenn dieser Ausdruck erlaubt ist) senkrecht gegen den zweiten Draht, vom Moment der Entwicklung des Stroms bis zu dem seiner grössten Stärke; diese Ausbreitung der Curven bewirkt dasselbe, wie wenn der zweite Draht gegen diese Curven oder gegen den stromleitenden Draht bewegt wird. Deshalb hat der in diesen Fällen erregte secundäre Strom entgegengesetzte Richtung wie der Hauptstrom (17, 235). Beim Oeffnen der *Volta*'schen Batterie kann man sich denken, die magnetischen Curven (was ein blosser Ausdruck für Anordnung magnetischer Kräfte ist) zögen sich zusammen und kehrten zu dem verschwindenden elektrischen Strom zurück, bewegten [178] sich also in entgegengesetzter Richtung senkrecht gegen den Draht, wodurch dann ein secundärer Strom von umgekehrter Richtung wie zuvor erregt wird.

239. Wenn man bei Versuchen mit gewöhnlichen Magneten diese, statt sie den Drähten zu nähern, sich erst neben ihnen bilden lässt (27, 36), so kann man annehmen, es finde eine ähnliche progressive Entwicklung der magnetischen Curven statt. Die Wirkungen dabei entsprechen der Bewegung der Drähte in einer Richtung; die Aufhebung der magnetischen Kraft entspricht einer Bewegung der Drähte in entgegengesetzter Richtung.

240. Wenn man, statt die magnetischen Curven des Stroms in einem geraden Draht von einem zweiten Draht mittelst Annähern oder Entfernen durchschneiden zu lassen (235), eine rotirende Scheibe anwendet, die man zu diesem Zweck neben den Draht, mitten in den magnetischen Curven, aufgestellt hat, so müssen sich in derselben continuirliche elektrische Ströme entwickeln. Und wenn eine Linie vom Draht bis zum Mittelpunkt der Scheibe auf beiden senkrecht steht, muss der secundäre Strom, dem Gesetz (114) zufolge, die Scheibe von einer Seite nach der andern hin durchkreuzen, rechtwinklig gegen die Richtung des erregenden Stroms.

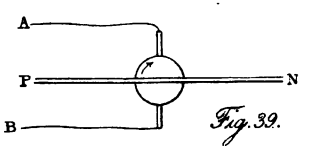


Fig. 39.

241. Durch einen einfachen Draht von $^1/_{20}$ Zoll Durchmesser wurde ein elektrischer Strom geleitet und dicht unter demselben, doch nicht in wirklicher Berührung mit demselben (Fig. 39), eine kleine Kupferscheibe

von anderthalb Zoll Durchmesser zum Rotiren gebracht. An zwei gegenüberliegende Stellen des Scheibenrandes wurden Collectoren gesetzt, und diese durch Drähte mit dem Galvanometer verbunden. Als die Scheibe rotirte, wich die Nadel nach einer Seite ab; als die Rotation umgekehrt wurde, ging sie nach der entgegengesetzten Seite, übereinstimmend mit den früheren Resultaten.

242. So sind denn die Gründe verschwunden, welche [179] mich bewogen, einen besonderen Zustand in dem Draht anzunehmen (60.). Und obgleich ich es nicht für wahrscheinlich halte, dass ein ruhender Draht in der Nachbarschaft eines anderen, der einen kräftigen elektrischen Strom leitet, ganz indifferent gegen diesen sei, so kenne ich doch keine Thatsache, die zu dem Schlusse berechtigte, dass er sich in einem besonderen Zustande befinde.

243. Beim Nachdenken über die Eigenart der Ursache, die ich in diesen Aufsätzen zur Erklärung des gegenseitigen Einflusses von Magnetstäben und bewegten Metallen angeführt habe (120), und beim Vergleiche derselben mit der bisher angenommenen, nämlich der Erregung eines schwachen Magnetismus gleich dem im Eisen erzeugten, fiel mir ein, dass sich über die Richtigkeit der beiden Ansichten ein sehr entscheidender Versuch anstellen liesse (215).

244. Keine andere bekannte Kraft wirkt in ähnlicher Richtung, wie die zwischen einem elektrischen Strom und einem Magnetpol. Sie wirkt tangential, während alle anderen in Distanz thätigen Kräfte direkt wirken. Wenn demnach ein Magnetpol, der sich an einer Seite einer rotirenden Scheibe befindet, ihrem Laufe folgt, indem er der Tangentialkraft gehorcht, welche auf ihn von dem eben durch ihn erregten elektrischen Strom ausgeübt wird, so müsste ein gleichnamiger Pol, an der anderen Seite der Scheibe angebracht, diesen sogleich von jener Kraft befreien; denn die Ströme, welche sich durch die Action der beiden Pole zu bilden suchen, haben entgegengesetzte Richtungen; oder vielmehr es würde kein Strom erregt, oder keine magnetische Curve geschnitten (114) und folglich der Magnet in Ruhe bleiben. Wenn dagegen die Wirkung des Magnetpols dahin geht, Südpolarität in den nächsten Theilen der Kupferscheibe, und sonst überall eine diffuse Nordpolarität (82) hervorzurufen, wie es wirklich beim Eisen der Fall ist, dann müsste die Anwendung eines zweiten Nordpols auf der entgegengesetzten

[180] Seite derselben Stelle der Scheibe die Wirkung, statt sie zu zerstören, verdoppeln, und eben so auch die Tendenz des ersten Magnets, sich mit der Scheibe zu bewegen.

245. Eine dicke Kupferscheibe (85) wurde deshalb an einer Verticalaxe befestigt und ein Magnetstab an einer seidenen Schnur so aufgehängt, dass sein gezeichneter Pol über dem Rand der Scheibe schwebte. Nachdem ein Bogen Papier zwischen gelegt worden, wurde die Scheibe in Rotation versetzt; augenblicklich gehorchte der Magnetpol ihrer Bewegung und ging in gleicher Richtung mit ihr fort. Nun wurde ein zweiter Magnet von gleicher Grösse und Stärke mit dem ersten aufgehängt, so dass sein gezeichneter Pol, wie es Fig. 37 zeigt, sich unter dem Scheibenrand befand, eben so weit von demselben und ähnlich liegend wie der obere Stab. Dann wurde wie zuvor ein Papierschirm dazwischen geschoben und die Scheibe in Umdrehung versetzt; indess zeigten sich die Pole ganz indifferent gegen ihre Bewegung, wiewohl sie einzeln für sich dem Laufe der Rotation gefolgt sein würden.

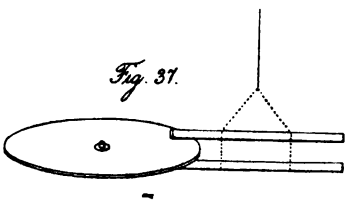


Fig. 37.

246. Kehrte man den einen Magnetstab um, so dass ungleichnamige Pole einander gegenüber lagen, so war die Wirkung zwischen den Polen und der sich drehenden Scheibe ein Maximum.

247. Hing man einen einzigen Magnet so auf, dass er mit seiner Axe im Niveau der Scheibe lag, und diesen oder jenen Pol dem Rande zukehrte, so wurde er beim Rotiren der Scheibe nicht bewegt. Die von der Induction abhängigen elektrischen Ströme würden nun suchen, sich in verticaler Richtung, der Dicke der Platte nach, zu entwickeln, konnten sich aber nicht entladen, oder wenigstens nicht bis zu dem Grade, dass dadurch sichtbare Wirkungen hervorgebracht wurden. Die gewöhnliche magnetische Induction, wie sie eine Eisenplatte [181] zeigt, würde sich eben so kräftig, wenn nicht gar kräftiger, in einer solchen Lage entwickelt haben (251).

248. Hinsichtlich der Elektricitätserregung gilt folgendes: Sobald die Platten den Magneten Bewegung ertheilen, sind Ströme in ihnen vorhanden, die aufhörten, wenn keine Bewegung erfolgte. Der gezeichnete Pol eines grossen Magnetstabs

wurde unter den Rand der Platte gestellt, und dann die Scheibe, nachdem Collectoren (86) an ihrer Axe und ihrem Rande angesetzt und mit dem Galvanometer verbunden waren (Fig. 38), in Rotation versetzt; sogleich ging ein kräftiger Strom in das Instrument. Nun wurde ein ähnlicher Magnet oberhalb der Platte aufgestellt, so dass ungleichnamige Pole einander gegenüber lagen. Beim Rotiren der Platte wurde ein noch kräftigerer Strom erregt. Darauf wurde der letztere Magnet umgedreht, so dass über und unter derselben Stelle der Platte gezeichnete Pole sich befanden. Nachdem der Abstand der Pole (von der Platte) ihrer relativen Stärke gemäss adjustirt worden war, wurden sie in ihrer inducirenden Wirkung auf die Platte zuletzt zu einer so vollkommenen Neutralisation gebracht, dass bei der schnellsten Rotation keine Elektricität mehr erhalten werden konnte.

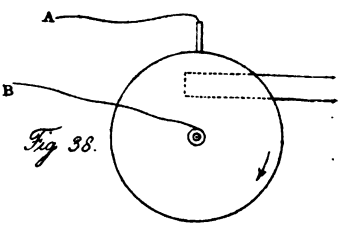


Fig 38.

249. Ich schritt nun zum Vergleiche der Wirkungen gleich- und ungleichnamiger Pole auf Eisen und Kupfer, und bediente mich dazu Hrn. *Sturgeon*'s nützlicher Abänderung des *Arago*'schen Versuchs. Diese besteht darin, dass man eine runde Metallscheibe von einer horizontalen Axe in einer verticalen Ebene tragen lässt, und sie entweder an einer Randstelle etwas beschwert, oder ihre Axe etwas excentrisch macht, so dass sie gleich einem Pendel schwingen kann. Die Pole der Magnete werden dann an der Seite oder an dem Rande dieser Scheibe aufgestellt, und die Zahl der Schwingungen aufgezeichnet, welche erforderlich sind, um den Schwingungsbogen auf eine gewisse constante Grösse zurückzuführen. Bei Beschreibung dieses Instruments*) wird gesagt, die ungleichnamigen Pole bewirkten die [182] grösste Verzögerung, und die gleichnamigen keine; und doch wird weiterhin die Wirkung als gleichartig mit der im Eisen erzeugten betrachtet.

250. Ich hatte zwei solcher Scheiben, eine von Eisen, und die andere von Kupfer anfertigen lassen. Die Kupferscheibe machte für sich, im Mittel aus mehreren Versuchen, sechzig Schwingungen, ehe der Schwingungsbogen auf eine ange-

*) Edinb. Phil. Journ. 1825, p. 124.

zeichnete constante Grösse herabsank. Nachdem dies- und jenseits der Platte, nahe bei einer und derselben Stelle, ungleichnamige Pole aufgestellt worden waren, wurden die Schwingungen auf funfzehn reducirt. Als gleichnamige Pole dahin gebracht wurden, stiegen sie auf funfzig, und als die Magnetstäbe durch zwei eben so grosse Holzstäbe ersetzt wurden, auf zweiundfunfzig. Bei Anwendung gleichnamiger Pole war also die magnetische Wirkung schwach oder Null (denn die Verzögerung rührte vielmehr von der Auffangung der Luft her), während sie bei ungleichnamigen Polen ihr Maximum erreichte. Wenn ein Pol dem Rande der Scheibe gegenüber aufgestellt ward, fand keine Verzögerung statt.

251. Die Eisenscheibe machte für sich allein zweiunddreissig Vibrationen, während der Schwingungsbogen um eine gewisse Grösse abnahm. Als ein Magnetpol dem Rande dieser Scheibe (247) gegenüber gehalten wurde, machte sie nur elf Schwingungen, ja nur gar fünf, als der Pol dem Rande bis auf einen halben Zoll genähert ward.

252. Als der gezeichnete Pol zur Seite der Scheibe in einem gewissen Abstande aufgestellt wurde, machte sie nur fünf Schwingungen. Wurde nun der gezeichnete Pol des zweiten Magnetstabs an der anderen Seite der Scheibe, in gleichem Abstande von ihr (250), aufgestellt, so nahmen die Schwingungen bis auf zwei ab. War aber der zweite Pol ein ungezeichneter, sonst aber genau in derselben Lage, so stiegen die Schwingungen bis auf zweiundzwanzig. Wurde der stärkere dieser beiden ungleichnamigen Pole ein wenig weiter von der Platte [183] abgerückt, so stieg die Zahl der Schwingungen bis auf einunddreissig, also nahe bis zur ursprünglichen Menge. Als er aber gänzlich entfernt wurde, sank diese Zahl bis auf fünf oder sechs herab.

253. Nichts kann demnach deutlicher sein, als dass beim Eisen und bei anderen Körpern, die der gewöhnlichen magnetischen Induction fähig sind, ungleichnamige Pole an entgegengesetzten Seiten des Randes der Scheibe einander in ihren Wirkungen aufheben, während gleichnamige Pole die Wirkung verstärken. Allein beim Kupfer und bei anderen Substanzen, die nicht für die gewöhnliche magnetische Einwirkung empfindlich sind, neutralisiren gleichnamige Pole einander, ungleichnamige erhöhen die Wirkung, und ein einziger Pol vor dem Rande bewirkt nichts.

254. Nichts kann vollständiger die gänzliche Unabhängig-

keit der von Hrn. *Arago* mit Metallen erhaltenen Wirkungen von denen der gewöhnlichen magnetischen Kräfte darthun; und deshalb wird künftig die Anwendung zweier Pole auf bewegte Substanzen, die magnetisch zu sein scheinen, ein Prüfmittel geben, von welcher Art ihre magnetischen Wirkungen sind. Wenn ungleichnamige Pole stärker wirken als ein einziger Pol, so rührt die Kraft von elektrischen Strömen her. Wirken dagegen gleichnamige Pole stärker als ein einziger Pol, so ist die Kraft nicht elektrisch. Das bei der Bewegung Thätige in den Metallen und der Kohle ist wohl nicht gleich, und in vielen Fällen wird man wahrscheinlich finden, dass die Wirkungen nicht einmal magnetischer Abkunft sind, sondern aus zufälligen, bisher noch nicht beachteten Ursachen entstehen.

255. Die Resultate dieser Untersuchungen scheinen zu beweisen, dass es wirklich, aber nur in sehr geringer Zahl, Körper giebt, die nach Art des Eisens magnetisch sind. Ich habe oft nach Anzeichen dieser Kraft in den gewöhnlichen Metallen und anderen Substanzen gesucht, [184] und einmal, zur Erläuterung von Hrn. *Arago*'s Einwand (82), und in der Hoffnung, das Dasein von Strömen in Metallen durch momentane Näherung eines Magnets zu ermitteln, eine Kupferscheibe an einem einfachen Seidenfaden in einem vortrefflichen Vacuo aufgehängt, und ausserhalb der Glocke kräftige Magnete genähert und entfernt, in Uebereinstimmung mit einem Pendel, das vibrirte, wie es die Scheibe hätte thun sollen; aber es war keine Bewegung zu erhalten; durch das Nähern und Entfernen des Magnets wurden nicht nur keine Anzeichen von gewöhnlichem Magnetismus, sondern auch keine von irgend einem elektrischen Strom erhalten. Ich wage daher die Substanzen, in magnetischer Beziehung, in drei Klassen zu theilen; zur ersten gehören die, welche schon bei Ruhe eine Einwirkung erleiden, wie das Eisen, Nickel u. s. w., also die, welche die gewöhnlichen magnetischen Eigenschaften besitzen; die zweite Klasse begreift die, welche eine Einwirkung erfahren, wenn sie sich bewegen, sie sind Elektricitätsleiter, in denen durch die inducirende Kraft eines Magnets elektrische Ströme erregt werden; die dritte Klasse umfasst die, welche sowohl in Ruhe als auch in Bewegung völlig indifferent gegen den Magnet sind.

256. Obgleich zur richtigen Kenntniss der Wirkungsart zwischen einem Magnet und einem bewegenden Metall noch

ferner experimentelle wie mathematische Untersuchungen nöthig snd, so scheinen doch einige der bereits erhaltenen Resultate klar und einfach genug, um einen Ausdruck in einer etwas allgemeinen Weise zu erlauben. Wenn man einen Draht von begrenzter Länge bewegt, so dass er eine magnetische Curve schneidet, so wird eine Kraft in Thätigkeit gesetzt, welche längs ihm einen elektrischen Strom hindurch zu treiben sucht; allein dieser Strom wird nicht eher zu Stande kommen, als bis an den Enden des Drahts Vorkehrungen zu seiner Entladung und Erneuerung getroffen sind.

[185] 257. Bewegt sich ein zweiter Draht in gleicher Richtung mit dem ersten, so wird auf ihn dieselbe Kraft ausgeübt, und er ist daher unfähig, den Zustand des ersten zu ändern; denn es scheinen unter den Substanzen keine natürlichen Unterschiede vorhanden zu sein, vermöge welcher, wenn man sie zu einem Bogen verbindet und gegen den Magnet unter gleichen Umständen bewegt, die eine einen kräftigeren elektrischen Funken in dem ganzen Bogen, als die andere hervorzurufen vermöchte (201, 214).

258. Bewegt sich aber der zweite Draht mit einer anderen Schnelligkeit oder in anderer Richtung als der erste, dann finden Kraftveränderungen statt, und wenn man sie an den Enden verbindet, so durchläuft sie ein elektrischer Strom.

259. Nimmt man nun eine Metallmasse oder einen endlosen Draht, und alle Theile bewegen sich in Beziehung auf den Magnetpol als einen Wirkungsmittelpunkt (was, wiewohl es nicht strenge richtig ist, hier des leichteren Ausdrucks halber erlaubt sein mag), in gleicher Richtung und mit gleicher Winkelgeschwindigkeit, und durch magnetische Curven von constanter Intensität, so werden keine elektrischen Ströme erregt. Dies ist bei Massen, die dem Erdmagnetismus unterworfen werden, leicht zu beobachten, und auch in Bezug auf kleine Magnete zu beweisen; bei Rotation derselben wird kein elektrischer Strom hervorgerufen.

260. Wenn ein Theil des Drahts oder Metalls die magnetischen Curven schneidet, während der andere ruhend bleibt, so werden Ströme erregt. Alle mit dem Galvanometer zu erhaltenden Resultate sind mehr oder minder von dieser Natur, da das galvanometrische Ende der stillstehende Theil ist. Selbst die mit dem Draht, dem Galvanometer und der Erde erhaltenen (170) können, ohne merklichen Fehler in dem Resultat, als hieher gehörig betrachtet werden.

[186] 261. Bewegt sich das Metall in derselben Richtung, aber in seinen einzelnen Theilen mit verschiedener Winkelgeschwindigkeit gegen den Magnetpol, so sind Ströme da. Dies ist der Fall in *Arago*'s Versuch, und auch bei dem Draht, welcher, als er von West gen Ost geführt ward, der erdmagnetischen Induction unterworfen war (172).

262. Wird der Magnet den Apparaten nicht geradezu genähert oder von ihnen entfernt, sondern seitwärts bewegt, so ist der Fall dem letzten ähnlich.

263. Werden verschiedene Theile in entgegengesetzten Richtungen senkrecht gegen die magnetischen Curven bewegt, so ist der Effect ein Maximum für gleiche Geschwindigkeiten.

264. Alles dieses sind in der That nur Variationen einer einfachen Bedingung, nämlich, dass sämmtliche Theile der Masse sich nicht in gleicher Richtung gegen die Curven und mit gleicher Winkelgeschwindigkeit bewegen.

Royal Institution, December 21, 1831.

Anmerkungen.

Michael Faraday, geboren am 22. September 1791 in *Newington* (Surrey), war der Sohn des Grobschmiedes *James Faraday* (geb. 1761, gest. 1810), und erlernte die Buchbinderei. Hierbei fand er oft Gelegenheit, die zufällig in seine Hände gerathenen wissenschaftlichen Bücher zu studiren. Die »Conversations in Chemistry« regten ihn zur Anstellung von Versuchen an, für welche er einige pence in jeder Woche sich ersparte, und der Artikel »Electricity« in der »Encyclopaedia Britannica«, die er einzubinden hatte, waren nach seinem eigenen Ausspruch der Anlass zu seiner wissenschaftlichen Laufbahn.

Er erhielt von seinem Meister die Erlaubniss, gelegentlich die Vorlesungen von *Tatum* über Naturwissenschaft zu besuchen, und in dieser Zeit 1810 beginnt sein wissenschaftlicher Verkehr mit gleichgesinnten Zuhörern. Ein Notizbuch, das er »*The Philosophical Miscellany*« betitelte, birgt Excerpte aus vielen Zeitschriften, die ihm in der täglichen Arbeit begegneten. Seine Lehrzeit war noch nicht abgelaufen, als es ihm glückte, Februar bis April 1812, vier Vorträge von *Sir Humphrey Davy* zu hören, die bestimmend auf sein Lebensschicksal wurden, sofern er von dieser Zeit an ununterbrochen seine Mussezeit wissenschaftlichen Beschäftigungen widmete. Nach beendeter Lehrzeit trat er October 1812 bei einem französischen Emigranten *de la Roche* in London als Buchbindergeselle ein. Obwohl dieser strenge, leidenschaftliche Charakter *Faraday* alle seine Habe als Erbe versprach, wenn er nur bei ihm bliebe, so war der Zug zur Wissenschaft doch zu stark.

Faraday selbst berichtet in einem Briefe vom Jahre 1829, wie seine Bekanntschaft und bald darauf erfolgende Anstellung an der Royal Institution zu Stande kam. Der Wortlaut dieses Briefes ist folgender:

»Royal Institution, Dec. 23, 1829.

An Herrn *J. A. Paris*, M. D.

Sie wünschen von mir einen Bericht über meine erste Bekanntschaft mit *Sir Humphrey Davy* und ich komme gern dem nach, da die Umstände Zeugniss ablegen von der Herzensgüte dieses Mannes.

Als Buchbinderlehrling liebte ich sehr die Experimente, Handel und Gewerbe (trade) waren mir zuwider. Zufällig veranlasste mich ein Herr, der Mitglied der Royal Institution war, *Sir H. Davy*'s letzte Vorlesungen in Albemarle Street zu hören. Ich schrieb nach und arbeitete das Ganze später fein sauber in einem Quartbande aus.

Mein Wunsch, dem Geschäft, das mir verderbt und selbstsüchtig vorkam, zu entfliehen und meine Kräfte der Wissenschaft zu widmen, von der ich die Meinung hegte, sie mache ihre Verfechter liebenswürdig und freisinnig, flösste mir Muth zu dem kühnen Schritt ein, an *Sir H. Davy* zu schreiben und demselben meine Wünsche auszusprechen in der Hoffnung, er würde bei irgend einer passenden Gelegenheit sich derselben erinnern; zugleich übersandte ich ihm meine Ausarbeitung seiner Vorträge.

Ich übersende Ihnen die Antwort *Davy*'s im Original und das ist das Wesentliche dieser meiner Mittheilung; ich bitte Sie dasselbe wohl zu hüten und mir zurückzusenden, denn was mir dasselbe werth ist, können Sie sich leicht vorstellen.

Beachten Sie wohl, dass das am Ende des Jahres 1812 geschah; Anfang 1813 wollte er mich sprechen und trug mir die alsdann gerade vacante Stelle eines Assistenten im Laboratorium der Royal Institution an.

Indem er solcher Art meinen wissenschaftlichen Bestrebungen entgegenkam, ermahnte er mich, nicht die vorhandenen Verhältnisse aufzugeben, denn die Wissenschaft sei eine harte Meisterin und in Bezug auf Gelderwerb wenig entgegenkommend. Als ich meinerseits über die höhere moralische Gesinnung der Männer der Wissenschaft eine Bemerkung machte, lächelte er und meinte, er würde mir einige Jahre Zeit lassen, um meine Ansicht zu berichtigen.

Schliesslich danke ich es seinem Entgegenkommen, dass ich im März 1813 in die Royal Institution als Assistent ein-

trat, und im October desselben Jahres reiste ich mit ihm hinaus als sein Assistent und Schreiber.

Ich kehrte mit ihm im April 1815 zurück, nahm wieder meine Stellung in der Royal Institution ein, in der ich bis jetzt geblieben bin.

Ihr sehr ergebener

M. Faraday.

Davy's im vorstehenden Briefe angedeutetes Schreiben hat folgenden Wortlaut:

An Herrn *Faraday.*

Dec. 24, 1812.

»Mein Herr,

Ich bin sehr eingenommen von der Arbeit, die Sie mir anvertraut haben; dieselbe bezeugt grossen Eifer, starke Fassungskraft und Aufmerksamkeit. Ich muss soeben die Stadt verlassen und kehre erst im Januar zurück; dann aber möchte ich Sie sehen.

Ich wünschte sehr, Ihnen dienlich sein zu können; hoffentlich steht das in meiner Macht.

Ihr ergebener gehorsamer Diener

H. Davy.«

Davy verschaffte ihm zunächst Bücher zum Einbinden und erst im März berief er ihn nochmals zu sich und bot ihm die Assistentenstelle an mit einem Gehalt von 25 Shill. die Woche und freier Wohnung. *Faraday* trat am 8. März ein und blieb sein ganzes Leben in der Royal Institution.

Von der zweijährigen Reise durch Frankreich, Italien und Deutschland sind viele von *Faraday* geschriebene Briefe an seinen Freund *Abbott* erhalten und in der Biographie: »The Life and Letters of *Faraday*« von Dr. *Bence Jones*, 2 Bde. London 1870 veröffentlicht. Der rasche Fortschritt seiner Kenntnisse, der Eifer, mit dem die wissenschaftlichen Errungenschaften erfasst und besprochen werden, die lebendigen Schilderungen von Land und Leuten zeugen von einem scharfen Verstande, von einer Tiefe und Wärme aller Empfindungen. Leider war die Stellung unter *Davy* keine ganz ungetrübte, sofern *Faraday* gegen die Verabredung die Geschäfte eines Kammerdieners besorgte und die erwartete Rücksicht auf seine Stellung ihm auf der ganzen Reise nicht zu Theil ward. —

Im Januar 1815 trug er sich deshalb unausgesetzt mit dem Gedanken, seine Stellung bei *Davy* aufzugeben und nach London zurückzukehren. Er schreibt seinem Freunde *Abbott:* »Wenn ich heimkehren sollte, so wende ich mich wieder meinem alten Berufe, der Buchbinderei, zu, denn Bücher sind und bleiben meine Lieblinge.« Nebenbei wiederholt er die Klagen über seine Unwissenheit und lückenhafte Bildung.

Zum Glück hielt *Faraday* aus und kehrte mit *Davy* nach London in seine alte Stellung zurück, in der er neben der Verrichtung des Laboratoriumdienstes Zeit für eigene Versuche erübrigte.

Seine erste grosse physikalische Entdeckung datirt vom Jahre 1821 und war leider zugleich Anlass zu den ersten peinlichen Ereignissen, die seine wissenschaftliche Laufbahn zu hemmen drohten.

Faraday wollte in den »Annals of Philosophy« einen Artikel schreiben über die Geschichte des Elektromagnetismus. Dazu musste er die hineinschlagenden Versuche sämmtlich wiederholen. Bei dieser Gelegenheit entdeckte er im September 1821 die Rotation elektrischer Ströme um einen Magnet und die eines Magnetes um den Strom herum. Die Rotation eines Stromes sowie die eines Magnetes um ihre eigene Axe konnte er nicht finden. Hiernach aber hatte *Wollaston* kurz zuvor in *Davy*'s Laboratorium gesucht. — Es entstand nun das Gerücht, *Faraday* habe ein Plagiat begangen.

Es gelang nur langsam und mit Aufwand aller männlichen Energie, die Irrthümer, Verwechslungen und Missverständnisse zu beseitigen und es hat zwei Jahre bis 1824 gedauert, bis die vollständig rehabilitirenden Erklärungen in dieser heiklen Angelegenheit erfolgt waren und *Faraday* mit allen gegen *eine* Stimme Mitglied der Royal Society wurde. Von 1823 an arbeitete er meist über Condensation der Gase mit grossem Erfolge.

Die berühmten »Experimental researches« umfassen im Ganzen dreissig Reihen, von denen wir vorliegend die beiden ersten bringen, die als ein in sich geschlossenes Ganze erscheinen. Erst in der neunten und elften Reihe kehrt *Faraday* zu Fragen über Induction zurück. Von der zwanzigsten Reihe an treten die Erscheinungen des Diamagnetismus auf, und von den magnetischen Kraftlinien, die schon in vorliegender Abhandlung der Vorstellung zu Grunde liegen, handeln die drei letzten Reihen 28 bis 30. Nach Entdeckung

der Induction wandte sich *Faraday* bald zur Elektrolyse, der die nächsten Serien 3 bis 8 fast ausschliesslich gewidmet sind. Da wir diese nächstens zu bringen gedenken, so behalten wir uns nähere Berichte über diese Zeit vor.

Die in den vorliegenden Abhandlungen (Reihe 1 und 2) publicirten Versuche datiren zum Theil bereits vom Jahre 1825, damals freilich nur mit negativem Erfolge, und auch das Jahr 1828 weist in *Faraday*'s Tagebuch nur negative Resultate auf. Die fruchtbare Zeit war erst der Herbst 1831, als in rascher Folge sämmtliche Fälle der Induction von Strömen sowohl durch Entstehen und Vergehen, als durch Annähern und Entfernen von Magneten und von elektrischen Strömen gefunden und in so vorzüglicher Ordnung verarbeitet wurden, dass man noch heute die Reihenfolge der Versuche als systematisch gegliedert im Lehrsystem vorbringen kann. Zahlreiche bis dahin falsch erklärte Erscheinungen, die von *Arago*, *Babbage*, *Herschel* und *Barlow* entdeckt und vielfach besprochen waren, kamen jetzt unter den einen Gesichtspunkt des *Faraday*'schen Inductionsgesetzes.

Ferner wird die Vorstellung eines magneto-elektrischen Kraftfeldes in dieser Entdeckungsperiode, wenn auch nicht ersonnen, so doch geklärt und befestigt.

Nachdem die vorliegende Abhandlung Ende 1831 zum Druck befördert war, wurden noch im Januar und Februar 1832 zahlreiche Versuche über Induction durch den Magnetismus der Erde angestellt.

Für *Faraday*'s Weltruf waren bereits frühere chemische Forschungen, ganz besonders aber die Entdeckung der Inductionsströme entscheidend. Schon 1830 wurde er als Chemiker Ehrenmitglied der Akademie der Wissenschaften in St. Petersburg, 1831 corr. Mitglied des Pariser Instituts. Im Jahre 1833 wird er Mitglied der Akademien von Florenz, Kopenhagen, Berlin. Die Universität Oxford ernannte ihn 1832 zum Dr. jur.

Sir Humphrey Davy war von 1801 bis 1812 Professor der Chemie an der Royal Institution, ihm folgte *Thomas Brande* von 1812 bis 1827 und von dieser Zeit an war *Faraday* »Fullerian Professor« bis zu seinem Tode. Er starb am 25. August 1867 in Hampton Court bei Richmond, wo ihm die Königin *Victoria* eine Wohnung verliehen hatte.

Die Uebersetzung vorstehender Abhandlungen rührt von *J. C. Poggendorff* her, nur wurden alle Aenderungen und Kürzungen ausgemerzt, auch alle Anmerkungen dem Texte getreu mitgetheilt; desgleichen sind sämmtliche im Original gegebene Figuren in den Text aufgenommen, und keine fortgelassen. Die am Schluss etwas unrichtige Reihenfolge der Figurenbezeichnung haben wir gleichfalls textgetreu beibehalten.

1) *Zu S. 5.* Diese und die folgenden Versuche mit *negativem* Resultate wurden 1825 und 1828 angestellt.

2) *Zu S. 7.* Die hier mitgetheilten verschiedenen Fälle einer Induction von Strömen wurden von *Faraday* so mitgetheilt, als erwarte der Leser eine Wirkung auch nach Ablauf des inducirten Schliessungsstromes. In der That hat unser Autor Jahre lang solches erwartet und erst am 1. Oct. 1831 die nur beim Schliessen und Oeffnen, sowie beim Nähern und Entfernen von Magneten und Strömen auftretenden Inductionen erkannt.

3) *Zu S. 13.* Dieser Versuch ist es, der am 1. Oct. 1831 angestellt wurde.

4) *Zu S. 13.* Im Original befindet sich an dieser Stelle folgende von *Poggendorff* in seiner Uebersetzung übergangene Anmerkung:

»Manche finden es schwer, die relative Stellung eines elektrischen Stromes und eines Magnets aufzufassen; es sind drei oder vier Hülfsmittel von *Ampère* und Anderen angegeben worden. Ich empfehle folgendes Verfahren, das sehr einfach und zweckmässig ist für solche und ähnliche Fälle. Der Beobachter stelle sich vor, er blicke herab auf eine Magnetnadel oder auf den Erdpol, ferner lasse er seine Hand sich bewegen wie der Zeiger der Uhr oder wie eine gewöhnliche Schraube; Ströme dieser Richtung um eine Nadel herum würden letztere in einen eben solchen Magnet wandeln, wie die vorliegende Magnetnadel beschaffen ist, d. h. in einen Magnet von gleichen Eigenschaften; oder in einen Magnet, der dieselbe Richtung einzunehmen strebt; oder es würden die Ströme in diese Richtung gelenkt werden durch einen so aufgestellten Magnet; denn in *Ampère*'s Theorie denkt man sich die Ströme im Magnet in der angegebenen Richtung. Wenn man diese zwei Vorstellungen, die Stellung der Nadel und die Handbewegung gleich dem Uhrzeiger, festhält, so kann man jede andere Beziehung des Stromes und des Magnets sich sofort herleiten.«

5) *Zu S. 19.* Der »neue elektrotonische Zustand« der Materie spielt eine eigenthümliche Rolle in der Entwicklung der *Faraday*'schen Auffassung. Es mag als ein glücklicher Umstand bezeichnet werden, dass der Autor ihn nicht ausgemerzt hat, obgleich er vor Abschluss der Abhandlung seinen Irrthum erkannt hatte. (s. 231. S. 75 und 242. S. 79.) Man wird vielleicht das Richtige treffen, wenn man annimmt, die Conception der Kraftlinien und des elektrisch-magnetischen Feldes sei der Ersatz für jene ersten, dunklen Vorstellungen gewesen, die er am Ende der vorliegenden Abhandlung selbst noch als unhaltbar erkennt. Beachtenswerth ist ein Brief an *Philipps* vom 29. Nov. 1831, in dem er den Plan zu den ersten Serien der Exp. Res. mittheilt und in welchem er eine Beziehung zwischen dem vermeintlichen »*elektrotonischen Zustande*« zur später zu erforschenden Elektrolyse vermuthet. Diese merkwürdige Stelle des Briefes ist folgende:

»Der neue elektrische Zustand, der durch Induction zwischen dem Anfange und Ende derselben (also während des Schlusses des Hauptstromes. d. H.) eintritt, führt zu sehr merkwürdigen Resultaten. Derselbe erklärt, warum bis jetzt in Versuchen mit dem Magnet chemische Actionen und ähnliches gefunden worden sind. Die Inductionsströme haben in der That keine merkliche Dauer. Ich glaube, dieser Zustand erklärt *das Hinüberführen der Elemente* zwischen den Polen der sich zersetzenden Säule. Indess diesen Theil der Untersuchung will ich aufschieben, bis die gegenwärtigen Experimente abgeschlossen sind; jener Zustand ist in einigen Wirkungen dermaassen denen von *Ritter*'s secundären Säulen, *de la Rive*'s und *van Beek*'s eigenthümlichen Eigenschaften der Pole *Volta*'scher Säulen analog, dass ich mich nicht wundern werde, wenn es gelänge, schliesslich alle als von diesem Zustande abhängig zu zeigen. Diesen Zustand der Materie habe ich mit dem Worte *Elektrotonisch* bezeichnet: »*der elektrotonische Zustand!*« Was denken Sie hierüber? Bin ich nicht ein kühner Mann? Unwissend wie ich bin, — schmiede ich neue Worte? Indess — ich habe Gelehrte (scholars) consultirt.« . . . . . .

Die nachfolgende Stelle aus demselben Briefe ist gleichfalls denkwürdig für die Entwickelung von *Faraday*'s Anschauungen:

»Der neue (elektrotonische) Zustand setzt mich in den Stand, alle die von *Arago* gefundenen Erscheinungen roti-

render Magnete oder rotirender Kupferscheiben vollständig zu erklären; da aber grosse Namen, wie *Arago*, *Babbage*, *Herschel* etc. in Betracht kommen, so habe ich mich mit der Bescheidenheit ausgedrückt, die Sie so gut kennen und die Sie sowohl, als ich und *John Frost* in gleicher Weise besitzen und für welche wir von der Welt mit Recht gepriesen werden. Doch fürchte ich mich beinahe Ihnen mitzutheilen, um was es sich handelt. Sie werden glauben, ich wolle Sie zum Besten halten oder — Sie werden es für Selbstbetrug ansehen. Beides ist überflüssig, lachen Sie lieber, wie ich selbst es herzlich gethan, als ich fand, dass hier weder Anziehung noch Abstossung vorhanden seien, sondern eine meiner längst entdeckten alten magnetischen Rotationen in einer neuen Form. Ich kann Ihnen nicht alle Wirkungen beschreiben, darum nur soviel: während der *elektrotonische Zustand* in dem Maasse sich bildet und wieder schwindet, als Platten unter dem Pole rotiren, und in Folge der magnetoelektrischen Induction, entstehen Ströme in der Richtung der Radien; diese beharren, aus einfachen Gründen, ebensolang, als die Bewegung fortdauert, hören aber mit dieser auf. So ist denn das Wunder erklärt, dass das Metall in seiner Bewegung den Magnet bewegt und solches nicht thut, wenn es ruht. Und ebenso ist *Arago*'s Beobachtung erklärt, die ihn veranlasste, gegen *Babbage* und *Herschel* aufzutreten mit der Behauptung, die Kraft sei eine abstossende; factisch aber ist die Richtung der letzteren eine tangentiale. Es ist erfreulich zu sehen, dass das Experiment nicht vor der Mathematik versinkt, sondern in Bezug auf Entdeckungen mit ihr rivalisiren kann; und ich bin erstaunt, dass, was die Mathematiker als *wesentliche Bedingung* einer Rotation bezeichnet haben, dass nämlich *Zeit dazu erforderlich* sei, so wenig begründet erscheint, dass, wenn die Zeit, anstatt erforderlich zu sein, anticipirt werden könnte, — d. h. wenn die Ströme entstehen könnten, ehe der Magnet auf die bezügliche Stelle käme und nicht nachher, — die Wirkung gleichwohl eintreten müsste.«

Die letzte etwas schwer verständliche Aeusserung wird durch die später folgenden Paragraphen 120, 124 und 125 des Textes aufgehellt. — Vermuthlich hatten Mathematiker den Ausspruch gethan, die von *Faraday* beobachteten Rotationen könnten nicht durch solche elektrische Ströme hervorgerufen

werden, die momentan entstehen und vergehen. Aehnlichen Aeusserungen begegnet man häufig bis zu den Sechziger Jahren unseres Jahrhunderts.

6) *Zu S. 27.* Wir sind genöthigt, an dieser Stelle eine Anmerkung mitzutheilen, die *Faraday* am Schluss der dritten Reihe bringt, die sich aber nur auf die in Paragr. 78, 79 nebst Anm. besprochene Frage bezieht. Der Wortlaut der der dritten Reihe angehängten Anmerkung ist folgender:

»Es sei mir gestattet, einen Irrthum zu berichtigen, den ich hinsichtlich *Ampère*'s Versuche begangen habe. Beim Besprechen eines Versuches über Induction elektrischer Ströme (78.) habe ich gesagt, es rotire eine Scheibe, während ich hätte sagen müssen ein Ring. Herr *Ampère* hat in der That einen solchen angewandt, d. h. einen sehr niedrigen Cylinder, der aus einem Streifen Kupferblech geformt, zum Ringe geschlossen ward und er theilt mir mit, dass in solchem Falle sehr leicht eine Bewegung erhalten werden kann. Ich habe nie daran gezweifelt, dass *Ampère* die Bewegung, die er beschreibt, auch erhalten hat; missverstanden hatte ich nur die von ihm angewandte Form und insofern befand ich mich im Irrthum.

In demselben Paragraph (78.) habe ich gesagt, *Ampère* behaupte, die Scheibe drehe sich »und nehme eine Gleichgewichtslage an, in die genau die Spirale bei freier Beweglichkeit sich gedreht haben würde«. Weiterhin sage ich, dass meine Resultate Ströme umgekehrter Richtung als nach *Ampère*'s Satz, erfordern, demgemäss ein elektrischer Strom die Elektricität in benachbarten Leitern in gleicher Richtung zu bewegen strebt.« Herr *Ampère* theilt mir soeben brieflich mit, er habe bei Beschreibung seines Versuches jede Angabe der Richtung des inducirten Stromes geflissentlich vermieden; ich finde bei Durchsicht der von ihm citirten Stelle, dass er vollkommen Recht habe. Somit habe ich mich bei obiger Behauptung geirrt und ich beeile mich solches mitzutheilen.

Doch soll man nicht meinen, ich hätte jene Zeilen leichtfertig hingeschrieben, daher möchte ich kurz die Gründe darlegen, die mich zu jener Auffassung geführt haben. Zunächst misslang *Ampère* der Versuch. Später, nach einem Jahr gelang derselbe und zwar in Genf mit *de la Rive* zusammen; dieser Forscher beschrieb die Resultate (Bibl. univers. Bd. 21. p. 48) und sagt, dass die zum Ringe zusammengebundene Kupferplatte, die als beweglicher Leiter benutzt wurde, »bisweilen